

# A produção de biogás na ETAR de Gaia Litoral: Estudo preliminar por Análise dos Componentes Principais

Alexandre Jorge Pereira Rosas da Silva  
Mestrado em Ciências e Tecnologia do Ambiente  
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território  
2015

**Orientador da FCUP**  
Prof. Doutor Carlos Rocha Gomes, FCUP

**Orientador da Empresa**  
Eng<sup>a</sup> Ermelinda Barreiro, ETAR de Gaia Litoral

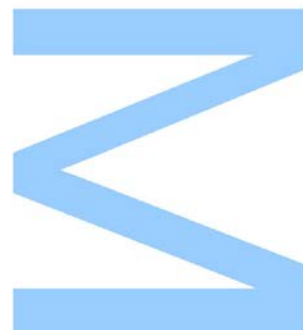




Todas as correções determinadas pelo júri, e só essas, foram efetuadas.

O Presidente do Júri,

Porto, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_



## Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao Eng<sup>o</sup> Fernando Ferreira pela oportunidade concedida de frequentar um estágio na ETAR de Gaia Litoral, assim como à Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

À Eng<sup>a</sup> Ermelinda Barreiro por ter sido a minha orientadora na ETAR e pela paciência que imagino que tenha de ter tido nos primeiros tempos em que desenvolvia o meu trabalho ainda em câmara lenta.

À Eng<sup>a</sup> Iolanda Queiróz pela ajuda e boa-disposição concedidas.

À Eng<sup>a</sup> Elisabete Martins e à Eng<sup>a</sup> Sílvia Fortuna pelo bom ambiente criado e a todos os outros Engenheiros com que me fui cruzando diariamente.

Ao Prof. Carlos Rocha Gomes pela orientação e pela ajuda e conselhos que me foi prestando ao longo dos 9 meses de estágio.

A todos os operadores e, como prometido, em especial ao “nunca pior” Bruno, pelo trabalho essencial que executaram e pelo sentido de humor diário.

Aos estagiários Mafalda, Germano, Bruno, Jorge, Manel e Alex pela amizade e companhia.

E para finalizar, aos pais e irmã pelo apoio e incentivo constantes durante os 9 meses.

## Resumo

O presente estágio teve como objetivos fulcrais promover a compreensão de toda a mecanização e ramificação do processo de tratamento das águas residuais da ETAR de Gaia Litoral, incentivar a aplicação dos conhecimentos adquiridos na área formativa do estagiário e avaliar o espírito crítico deste perante os resultados, consoante o seu poder interpretativo.

Foi neste sentido que o estágio, efetuado no período de 9 meses balizado entre o início de outubro de 2014 e o final de junho de 2015, permitiu a conjugação do fator conhecimento, por observação direta do funcionamento da ETAR e da contribuição da aprendizagem resultante da realização do trabalho analítico e de tratamento de dados das amostras recolhidas de cada etapa do processo. Foi assim possível compreender a mecânica de funcionamento do processo de tratamento das águas residuais e, simultaneamente, perceber que determinados fatores podem ter uma influência direta ou indireta sobre os resultados verificados numa etapa a jusante.

De entre as atividades do estágio, destacou-se a avaliação quantitativa e qualitativa das características físico-químicas da água residual, sendo que para isso foram utilizadas amostras provenientes quer da linha líquida como da fase sólida do processo de tratamento. Parâmetros como a  $\text{CBO}_5$ , a CQO, os SST e ST, os SSV e SV, a alcalinidade, os AGV, o pH, os nutrientes ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{N}_t$  e  $\text{P}_t$ ) e ainda os sólidos sedimentáveis, foram analisados de modo a acompanhar a eficácia do processo de tratamento e/ou o estado do afluente e utilizados como uma rede de ligações de modo a compreender a forma como se relacionam, isto é, como influenciam os resultados uns dos outros.

Com este intuito pretendeu-se, através de uma Análise de Componentes Principais (PCA), compreender as correlações entre a produção de biogás na fase de digestão anaeróbia na ETAR (dados obtidos fora do âmbito do trabalho laboratorial realizado) e os parâmetros acima mencionados.

Os resultados obtidos foram satisfatórios na medida em que se obteve uma correlação forte entre a alcalinidade das lamas presentes nos digestores e a produção de biogás.

**Palavras-chave:** ETAR de Gaia Litoral, Análise dos Componentes Principais, biogás, características físico-químicas, correlações.

## Abstract

The central objective of this work was to promote understanding of the whole mechanization and branching of the wastewater treatment process from the wastewater treatment plant (WWTP) of Gaia Litoral, encouraging the application of knowledge acquired in the training area of the trainee and evaluate the critical spirit of this at the outcome, depending on their interpretive power.

It was in this sense that the internship, made in a 9-month period ranging between early October 2014 to the end of June 2015, enabled the pooling of knowledge factor by direct observation of the functioning of the WWTP, and the contribution of the resulting learning achievement obtained from the analytical work and data processing of the samples collected from each process step. It was thus possible to understand the operation mechanics of the treatment wastewater process and, simultaneously, realize that certain factors may have a direct or indirect influence on the results obtained in a downstream step.

Among the training activities, the highlight was the quantitative and qualitative assessment of physicochemical characteristics of wastewater, having for this been used samples from both the liquid line and the solid phase of the treatment process. Parameters such as BOD<sub>5</sub>, COD, TSS, TS, VSS, VS, alkalinity, AGV, pH, nutrients (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Total N and P) and also settleable solids, were analyzed in order to monitor the effectiveness of the treatment process and / or the state of the affluent, and used as a network of connections in order to understand how they relate, *ie*, how they influence each other's results.

For this purpose it was intended, through a Principal Component Analysis (PCA), to understand the correlations between the production of biogas in the anaerobic digestion phase of the WWTP (data obtained outside the laboratory work context) and the aforementioned parameters.

The results were satisfactory as a strong correlation was obtained between alkalinity of the sludge present in digesters and the biogas production.

**Key Words:** WWTP of Gaia Litoral, Principal Component Analysis, biogas, physicochemical characteristics, correlations.

# Índice

Agradecimentos.....	iii
Resumo .....	iv
Abstract.....	v
Índice .....	vi
Lista de tabelas.....	ix
Lista de figuras .....	x
Abreviaturas.....	xii
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento do estágio .....	1
1.2. Objetivos propostos.....	2
1.3. Tratamento de águas residuais.....	2
1.4. Introdução à Análise dos Componentes Principais.....	4
1.5. Local de estágio .....	4
1.5.1. A empresa.....	4
1.5.2. ETAR de Gaia Litoral .....	5
2. Características globais da ETAR.....	6
2.1. Funcionamento da ETAR .....	7
3. Tipos de tratamento efetuados na ETAR .....	9
3.1. Linha líquida.....	9
3.1.1. Pré-Tratamento .....	9
3.1.2. Tratamento Primário .....	9
3.1.3. Tratamento Secundário.....	10
3.1.3.1. Funcionamento dos reatores biológicos .....	11
3.1.3.2. Decantação secundária .....	13
3.1.4. Tratamento Terciário.....	13
3.2. Fase sólida.....	14

3.2.1.	Tratamento de lamas .....	14
3.2.1.1.	Espessamento .....	14
3.2.1.2.	Flotação .....	15
3.2.1.3.	Digestão anaeróbia.....	15
3.3.	Fase gasosa.....	18
4.	Desodorização.....	20
5.	Controlo Analítico .....	20
5.1.	Procedimentos analíticos .....	21
5.1.1.	CBO <sub>5</sub> .....	21
5.1.2.	CQO .....	23
5.1.3.	Determinação de SST e SSV.....	24
5.1.4.	Determinação de ST e SV .....	25
5.1.5.	Determinação da alcalinidade das lamas .....	27
5.1.6.	Determinação dos Ácidos Gordos Voláteis.....	28
5.1.7.	Determinação do catião amónio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) .....	28
5.1.8.	Determinação dos nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) .....	29
5.1.9.	Determinação do Azoto total (N <sub>t</sub> ) .....	29
5.1.10.	Determinação do Fósforo total (P <sub>t</sub> ) .....	30
5.1.11.	Volume de decantação .....	31
6.	Resultados do controlo analítico .....	31
6.1.	Linha líquida .....	31
6.1.1.	Caudal à entrada da ETAR .....	31
6.1.2.	Efluente à saída .....	32
6.1.2.1.	Gráficos comparativos .....	33
6.1.2.1.2.	CBO <sub>5</sub> vs Valor Limite de Emissão.....	34
6.1.2.1.3.	SST vs Valor Limite de Emissão.....	34
6.1.3.	Taxas de redução .....	35
6.2.	Fase sólida .....	39
7.	Análise dos Componentes Principais .....	40

8. Resultados PCA .....	41
9. Conclusões.....	58
10. Referências bibliográficas.....	59
Anexos.....	61



## Lista de tabelas

Tabela 1 - Linha líquida .....	3
Tabela 2 - Fase sólida .....	3
Tabela 3 - Controlo analítico.....	21
Tabela 4 - Correspondência de volumes.....	22
Tabela 5 - Valores Limite de Emissão por parâmetro .....	33
Tabela 6 - Taxa de redução SST.....	37
Tabela 7 - Taxa de redução CQO .....	38
Tabela 8 - Taxa de redução CBO5.....	38
Tabela 9 - Matriz Correlação para os vários parâmetros das águas residuais do D1 e a produção média mensal de biogás.....	41
Tabela 10 - Matriz Correlação para os vários parâmetros das águas residuais do D2 e a produção média mensal de biogás.....	42
Tabela 11 - Matriz Correlação para os vários parâmetros das águas residuais das Lamas Mistas e a produção média mensal de biogás.....	42
Tabela 12 - Matriz Correlação para os vários parâmetros das águas residuais das Lamas Primárias e a produção média mensal de biogás.....	43
Tabela 13 - Matriz Correlação para os vários parâmetros das águas residuais do Espessador e a produção média mensal de biogás.....	43
Tabela 14 - Matriz Correlação para os vários parâmetros das águas residuais do Flotador e a produção média mensal de biogás.....	43
Tabela 15 - Parâmetros da regressão linear dos dados (ST; SV).....	45
Tabela 16 - Número de valores próprios, respetivos valores e variância explicada associada para os diversos elementos da ETAR. ....	49

## Lista de figuras

Figura 1 - Vista aérea ETAR de Gaia Litoral ( <a href="http://www.aguasgaia.pt/pt/dados.php?ref=san_etar_gaia_litoral">http://www.aguasgaia.pt/pt/dados.php?ref=san_etar_gaia_litoral</a> ).....	5
Figura 2 - Localização e vizinhança da ETAR ( <a href="http://www.aguasgaia.pt/pt/dados.php?ref=san_cobertura">http://www.aguasgaia.pt/pt/dados.php?ref=san_cobertura</a> ) .....	5
Figura 3 - Mapa das etapas de tratamento na ETAR ( <a href="http://www.cienciaviva.pt/veraocv/2009/downloads/ETAR%20Gaia%20Litoral_brochura.pdf">http://www.cienciaviva.pt/veraocv/2009/downloads/ETAR%20Gaia%20Litoral_brochura.pdf</a> ).....	6
Figura 4 - Organigrama esquemático do funcionamento da ETAR .....	8
Figura 5 - Sistema de gradagem .....	9
Figura 6 - Processo de tratamento no SEDIPAC 3D.....	10
Figura 7 - Reator biológico .....	11
Figura 8 - Decantação secundária.....	13
Figura 9 - Filtro de areia .....	13
Figura 10 - Espessador .....	14
Figura 11 - Flotador .....	15
Figura 12 - Digestor 1 .....	17
Figura 13 - Digestor 2.....	17
Figura 14 - Gasómetro.....	18
Figura 15 - Grupo de cogeração.....	19
Figura 16 - Compressores de biogás .....	19
Figura 17 - Caldeira .....	19
Figura 18 - Permutadores de calor.....	19
Figura 19 - Tocha .....	19
Figura 20 - Torres de desodorização.....	20
Figura 21 – Incubadora WTW Model T5 606/2 com sistema Oxitop para CBO <sub>5</sub> .....	23
Figura 22 – Termoreator Spectroquant® TR320 da Merck .....	23
Figura 23 - Copos de filtração .....	25
Figura 24 – Estufa marca Memmert .....	26
Figura 25 - Mufla.....	26
Figura 26 - Centrífuga.....	27
Figura 27 - Fotómetro .....	31
Figura 28 - Gráfico do caudal à entrada da ETAR .....	32
Figura 29 - Gráfico CQO vs VLE .....	33

Figura 30 - Gráfico CBO5 vs VLE.....	34
Figura 31 - Gráfico SST vs VLE .....	35
Figura 32 – Comparação dos valores dos parâmetros para o afluente (linha contínua) com os do efluente (linha a tracejado).....	36
Figura 33 - "Scree plot" da matriz de dados do D1 .....	46
Figura 34 - "Loadings plot" da matriz de dados do D1 .....	47
Figura 35 - "Scores plot" da matriz de dados do D1.....	48
Figura 36 - "Loadings plot" da matriz de dados do Digestor 2.....	50
Figura 37 - "Scores plot" da matriz de dados do Digestor 2 .....	50
Figura 38 - "Loadings plot" da matriz de dados das Lamas Mistas .....	51
Figura 39 - "Scores plot" da matriz de dados das Lamas Mistas .....	52
Figura 40 - "Loadings plot" da matriz de dados das Lamas primárias.....	53
Figura 41 - "Scores plot" da matriz de dados das Lamas Primárias.....	54
Figura 42 - "Loadings plot" da matriz de dados do Espessador .....	55
Figura 43 - "Scores plot" da matriz de dados do Espessador. ....	55
Figura 44 - "Loadings plot" da matriz de dados do Flotador.....	56
Figura 45 - "Scores plot" da matriz de dados do Flotador. ....	57

## Abreviaturas

AGV – Ácidos Gordos Voláteis

Alk – Alcalinidade

CBO<sub>5</sub> – Carência Bioquímica de Oxigénio ao fim de 5 dias

CQO – Carência Química de Oxigénio

D1 – Digestor 1

D2 – Digestor 2

ESP – Espessador

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

FLOT - Flotador

IVL – Índice Volumétrico de Lamas

LM – Lama Mista

LP – Lama Primária

N<sub>t</sub> – Azoto total

PCA – Principal Component Analysis (ACP – Análise dos Componentes Principais)

P<sub>t</sub> – Fósforo total

SST – Sólidos Suspensos Totais

SSV – Sólidos Suspensos Voláteis

ST – Sólidos Totais

SV – Sólidos Voláteis

VLE – Valor Limite de Emissão

# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento do estágio

O segundo ciclo de estudos do Mestrado em Ciências e Tecnologia do Ambiente define como principais objetivos o desenvolvimento, inovação e aprofundamento de competências profissionais, a aquisição de conhecimentos e capacidade de compreensão, de resolução de problemas e de definição de soluções, quer seja no âmbito da investigação ou para o exercício de uma atividade profissional especializada e a capacidade de comunicação clara e concisa dos conhecimentos, dando assim ao mestrando as ferramentas necessárias para o seu desenvolvimento e autonomia para continuar o seu percurso de aprendizagem do modo satisfatório.

Este estágio, efetuado no período de 9 meses balizado entre o início de outubro de 2014 e o final de junho de 2015 permitiu a conjugação do fator conhecimento por observação *in-loco* do funcionamento da ETAR de Gaia Litoral com a contribuição para que houvesse a capacidade de, a partir dos resultados obtidos em análises laboratoriais relativos às amostras obtidas de cada etapa do processo, compreender a mecânica desse mesmo processo e a forma como determinado fator alvo do estudo influencia direta ou indiretamente os resultados verificados numa etapa a jusante.

A avaliação de cada resultado obtido nas tarefas levadas a cabo ao longo destes 9 meses permitiu adquirir uma experiência que incrementou a capacidade interpretativa de causa/efeito e a destreza mental suficiente para com maior discernimento procurar soluções e explicações para lidar com os resultados inesperados.

Foi esta inter-ligação entre a avaliação dos resultados obtidos referentes às diferentes etapas do processo que permitiu interpretar os valores mensais relativos à produção de biogás na ETAR e correlacioná-los, por meio de uma análise dos componentes principais (PCA), com a avaliação efetuada aquando do controlo analítico das amostras recolhidas em laboratório. Parâmetros como a Carência Química de Oxigénio (CQO) ou a Carência Bioquímica de Oxigénio ao dim de 5 dias (CBO<sub>5</sub>), avaliados no controlo analítico à linha líquida, foram tidos em conta como potenciais componentes com influência efetiva na produção de biogás, assim como vários outros como os Sólidos Suspensos Totais (SST) e Sólidos Totais (ST), os Sólidos Suspensos

Voláteis (SSV) e Sólidos Voláteis (SV), a alcalinidade e os Ácidos Gordos Voláteis (AGV), os nutrientes e o pH.

## **1.2. Objetivos propostos**

O presente estágio tem como objetivos primordiais promover a compreensão de toda a mecanização e ramificação do processo de tratamento das águas residuais da ETAR de Gaia Litoral, incentivar a aplicação dos conhecimentos adquiridos na área formativa do estagiário e avaliar o espírito crítico deste perante os resultados, consoante o seu poder interpretativo.

## **1.3. Tratamento de águas residuais**

O tratamento de águas residuais urbanas e domésticas destina-se a contribuir de forma contínua para que haja uma melhoria significativa dos meios recetores circundantes, ao nível das suas características ambientais, permitindo que a sua boa qualidade seja preservada e conservada, através de vários processos físicos, químicos e biológicos. Estes permitem transformar os constituintes biodegradáveis dissolvidos e particulados em produtos finais aceitáveis, capturar e incorporar sólidos em flocos ou biofilmes e transformar ou remover nutrientes (Metcalf & Eddy, 2003). É também possível haver a retirada e a rejeição adequada de areias, óleos e gorduras dos afluentes. Do tratamento resultam essencialmente dois produtos finais: o efluente tratado, com condições adequadas à descarga no meio recetor; e a matéria orgânica sob outras formas, como lamas biológicas, que têm destinos apropriados. Pode também haver libertação de gases em alguns tipos de tratamento, o que proporciona a oportunidade de produzir biogás adequado a aproveitamento energético. As ETAR's podem então compreender, de forma geral, diferentes níveis de tratamento com objetivos e processos específicos, tanto na linha líquida como na linha sólida, como se pode ver nas tabelas 1 e 2 (Metcalf & Eddy, 2003)

## Linha líquida

Tabela 1 - Linha líquida

Tipos de Tratamento	Função	Processos utilizados
Pré-tratamento	Remoção de sólidos de maiores dimensões	Gradagem; Tamisação e Trituração
Tratamento Primário	Remoção de sólidos suspensos e de matérias orgânicas	Desarenamento; Desengorduramento; Filtração e Sedimentação
Tratamento Secundário	Eliminação de sólidos suspensos e compostos orgânicos biodegradáveis	Lamas Ativadas, Lagoas, Leitos Percoladores e Macrófitas
Tratamento Terciário	Eliminação de outros componentes como nutrientes, compostos tóxicos e excesso de matéria orgânica	Adsorção em carvão ativado, Osmose inversa, Permuta iónica e Eletrodialise

## Fase sólida

Tabela 2 - Fase sólida

Tipos de Tratamento	Função	Local de tratamento
Espessamento	Remoção da água presente nas lamas biológicas rejeitadas	Espessador; Flotador
Digestão anaeróbia	Produção de biogás por decomposição da matéria orgânica	Biodigestor/es
Desidratação	Eliminação do excesso de humidade nas lamas previamente espessadas	Centrífuga

## 1.4. Introdução à Análise dos Componentes Principais

A Análise dos Componentes Principais (PCA) é uma técnica de análise exploratória de dados multivariados que é utilizada com o intuito de transformar um conjunto de variáveis correlacionadas num conjunto mais reduzido de variáveis independentes, simplificando os dados através do encurtamento do número de variáveis necessárias para os descrever, que são combinações lineares das variáveis originais, designadas por componentes principais (Moroco, 2003; Pestana e Gageiro, 2005), que podem, posteriormente, ser utilizados como indicadores que resumem a informação disponível nas variáveis originais.

O PCA pressupõe (Sharma, 1996; Hair et al., 1998) a existência de um número menor de variáveis não observáveis subjacentes aos dados, que expressam o que existe em comum nas variáveis originais, e que a dimensão da amostra seja significativa.

## 1.5. Local de estágio

### 1.5.1. A empresa

A SIMDOURO – Saneamento do Grande Porto, S.A., assumindo o compromisso de contribuir ativamente para o desenvolvimento sustentado e para a concretização das metas estabelecidas para o setor do saneamento, considera e promove os interesses de todas as partes interessadas, assumindo como princípios estratégicos a satisfação do cliente, a motivação dos colaboradores, a gestão responsável dos processos, a melhoria contínua e inovação e a comunicação de desempenho.

Tem como missão conceber, construir e gerir as infra-estruturas do Sistema Multimunicipal de Saneamento do Grande Porto, assegurando a prestação de serviços de saneamento de águas residuais aos municípios aderentes, através da utilização de processos de recolha e tratamento eficientes, num quadro de sustentabilidade económica, social e ambiental. Este sistema multimunicipal está dimensionado para servir uma população residente de 519 mil habitantes-equivalentes e tratar 86.893 m<sup>3</sup>/dia de efluente doméstico e industrial, proveniente dos municípios utilizadores, no ano horizonte do projeto (2060).

O investimento a realizar no âmbito da implementação do Sistema Multimunicipal de Saneamento do Grande Porto visa, sobretudo, o aumento da cobertura em termos de tratamento de águas residuais e o ajustamento de eficiência do tratamento às atuais exigências legais. ([http://www.adnorte.pt/downloads/file81\\_pt.pdf](http://www.adnorte.pt/downloads/file81_pt.pdf))



### 1.5.2. ETAR de Gaia Litoral

A ETAR de Gaia Litoral (figura 1), que é tida como uma das melhores e mais sofisticadas da Europa, foi inaugurada em 8 de julho de 2003 por Sua Excelência o Senhor Presidente da República, Dr. Jorge Sampaio e pelo Presidente da Câmara Municipal de Vila Nova de Gaia. Situa-se na freguesia de Canidelo, tendo como função essencial o tratamento de efluentes provenientes das partes Norte e Ocidental do concelho.

A ETAR acolhe as águas residuais domésticas e industriais da região e zela pela qualidade ambiental do solo, rios e praia cuja ação abrange, removendo os contaminantes que os poluem.

A ETAR de Gaia Litoral serve (figura 2) as populações de Santa Marinha, Valadares, Canidelo, Madalena, Arcozelo, São Félix Marinha, Vilar do Paraíso, Grijó, Serzedo, Gulpilhares, Perosinho, Sermonde, Afurada e parte das populações de Mafamude e Canelas. ([http://www.aguasgaia.pt/pt/dados.php?ref=san\\_etar\\_gaia\\_litoral](http://www.aguasgaia.pt/pt/dados.php?ref=san_etar_gaia_litoral))



Figura 1 - Vista aérea ETAR de Gaia Litoral ([http://www.aguasgaia.pt/pt/dados.php?ref=san\\_etar\\_gaia\\_litoral](http://www.aguasgaia.pt/pt/dados.php?ref=san_etar_gaia_litoral))



Figura 2 - Localização e vizinhança da ETAR ([http://www.aguasgaia.pt/pt/dados.php?ref=san\\_cobertura](http://www.aguasgaia.pt/pt/dados.php?ref=san_cobertura))

## 2. Características globais da ETAR

A estação de tratamento de águas residuais de Gaia Litoral (figura 3) foi dimensionada para uma população de 300 000 habitantes, e pode tratar um caudal de 66 718 m<sup>3</sup>/dia e uma carga de 16 352 kg/dia de CBO<sub>5</sub>, sendo constituída por:

- **Gradagem** (remoção de sólidos e detritos mais grosseiros)
  - **2 Sedipac 3D** (desarenamento, desengorduramento e decantação primária);
  - **4 tanques de arejamento** com capacidade de 7500 m<sup>3</sup> cada;
  - **4 decantadores secundários** retangulares com capacidade de 3740 m<sup>3</sup> cada;
  - **1 espessador** com diâmetro de 15 m;
  - **1 flotador** com diâmetro de 13 m;
  - **2 digestores anaeróbios** com capacidade de 4000 m<sup>3</sup> cada;
  - **1 gasómetro** com capacidade de 1350 m<sup>3</sup>;
  - **1 grupo de cogeração** com potência de 483 KW;
  - **Desidratação mecânica de lamas** com 2 centrífugas;
  - **Sistema de desodorização** para toda a ETAR com um caudal total de ventilação de 60.000 m<sup>3</sup>/h;
  - **Filtração e desinfeção por U.V.** do efluente tratado para regas e lavagens com capacidade de 200 m<sup>3</sup>/h.
- ([http://www.aguasgaia.pt/pt/dados.php?ref=san\\_etar\\_gaia\\_litoral](http://www.aguasgaia.pt/pt/dados.php?ref=san_etar_gaia_litoral))



Figura 3 - Mapa das etapas de tratamento na ETAR  
([http://www.cienciaviva.pt/veraocv/2009/downloads/ETAR%20Gaia%20Litoral\\_brochura.pdf](http://www.cienciaviva.pt/veraocv/2009/downloads/ETAR%20Gaia%20Litoral_brochura.pdf))

A figura 3 mostra os elementos constituintes da Estação de Tratamento de Águas Residuais, legendando-os numericamente pela ordem com que a sua atividade se desenrola no processo, iniciando-se pela obra de entrada em que para além de serem efetuadas medições de caudais, o efluente sofre uma gradagem onde os sólidos mais grosseiros são removidos de modo a que os mecanismos de tratamento imediatamente posteriores possam realizar a sua ação de características distintas com eficácia e rigor, e finalizando no edifício de desodorização, onde três torres de lavagem química, constituídas por ácido sulfúrico, soda cáustica e hipoclorito de sódio, atuam de modo a extrair o ar contaminado proveniente de diversos órgãos constantes no processo de tratamento onde circula esgoto bruto, desinfetando-o e impedindo a sua difusão para o exterior. A atividade desenvolvida no estágio decorreu na última zona numerada na figura 3, mais precisamente no laboratório, referente ao edifício de exploração.

## 2.1. Funcionamento da ETAR

Ao realizar um tratamento de águas residuais, há dois tipos de tratamento a ter em equação: o tratamento da linha líquida e o tratamento da linha sólida. O principal objetivo na fase de tratamento da linha líquida é cumprir as condições de descarga legisladas para que se possa lançar a água tratada no meio recetor, quer este seja o mar (lançado por exutor submarino) ou a água seja utilizada para fins de rega ou limpeza da estação. Na fase de tratamento à linha sólida, o principal objetivo é tratar e dar o melhor destino aos sólidos que são removidos da linha líquida. Na ETAR de Gaia Litoral, a lama resultante da mistura das lamas espessadas no espessador (lama primária) e no flotador (lamas biológicas em excesso), denominada de lama mista, é sujeita a uma digestão anaeróbia (efetuada por batérias que sobrevivem a condições isentas de oxigénio), a partir da qual se obterá biogás que em fase gasosa dará origem à produção de energia elétrica, e de onde sairão lamas que após desidratação seguirão para valorização agrícola.

Até à obtenção do efluente final tratado ou das lamas destinadas à produção de biogás ou à valorização agrícola, são então executadas várias etapas de tratamento, quer este seja físico, químico ou biológico, como ilustra a figura 4:

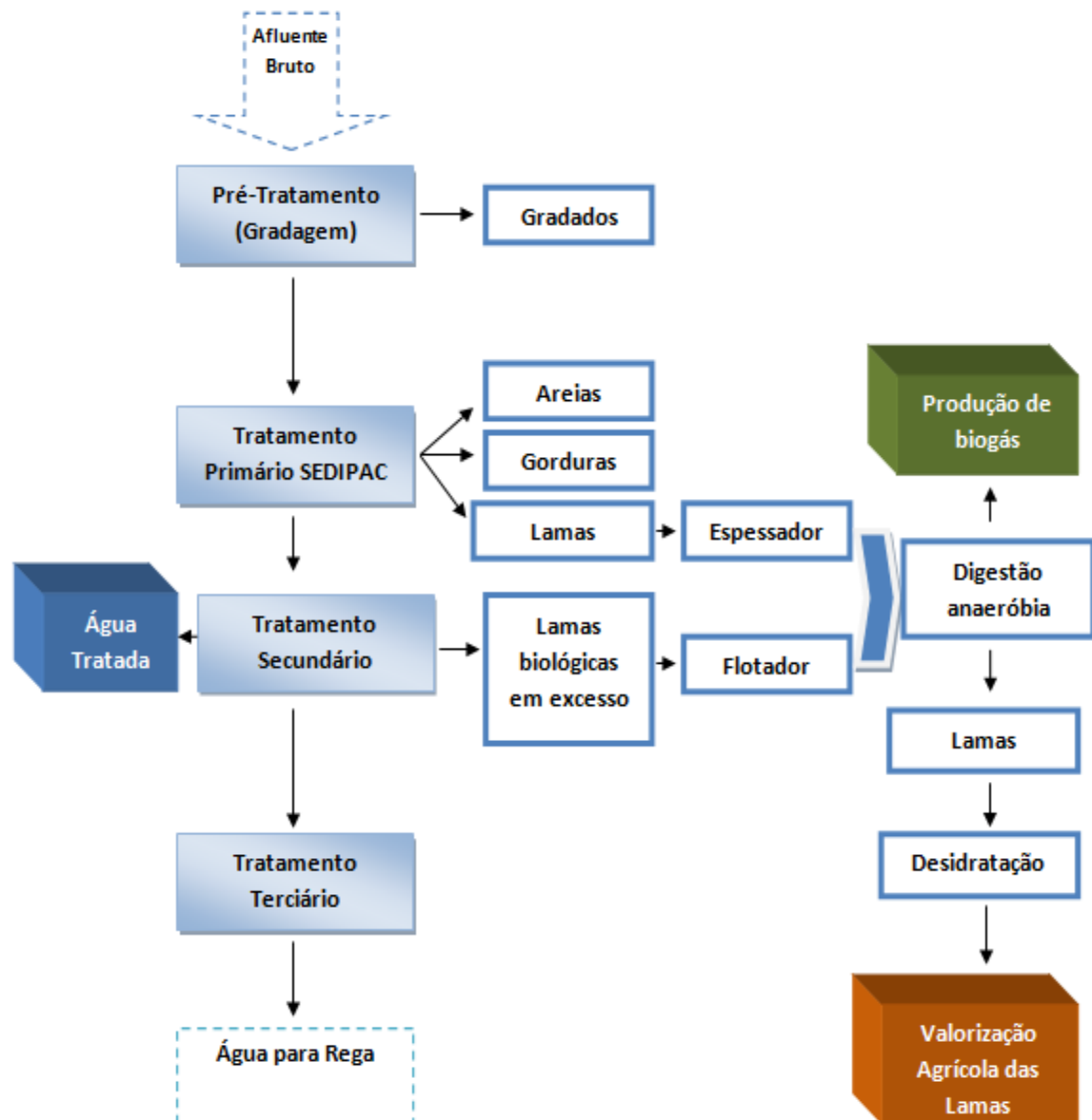


Figura 4 - Organograma esquemático do funcionamento da ETAR

### 3. Tipos de tratamento efetuados na ETAR

#### 3.1. Linha líquida

##### 3.1.1. Pré-Tratamento

O **tratamento preliminar ou pré-tratamento** tem como objetivo remover, através do sistema de **gradagem**, os detritos grosseiros presentes na água residual. Estes são removidos para que não haja danos nos órgãos de tratamento a jusante. Os sólidos são colocados em contentores próprios e encaminhados tanto para incineração como para aterro. Na figura 5 está ilustrado o processo de gradagem efetuado pelas grades finas presentes no edifício da obra de entrada.



Figura 5 - Sistema de gradagem

##### 3.1.2. Tratamento Primário

O **tratamento primário** consiste na remoção dos sólidos em suspensão e da matéria orgânica que se encontram no efluente.

Na ETAR Gaia Litoral o tratamento primário, que ocorre geralmente em dois órgãos, nomeadamente no desarenador e no decantador, ocorre num órgão compacto de menores dimensões do que um decantador convencional, denominado Sedipac 3D. Neste órgão são realizadas as etapas de desengorduramento, desarenamento e decantação primária.

O **desengorduramento** tem como objetivo remover os óleos e gorduras que se encontram no efluente através de injeção de ar que leva à acumulação da gordura na superfície. Posteriormente deverá ser efetuada uma remoção dessas gorduras e



encaminhamento para destino final adequado, para que esta não influencie negativamente o tratamento seguinte. O **desarenamento** tem como objetivo a remoção de areias que possam existir no efluente, separando-as eficientemente da matéria orgânica, de modo a que não provoque danos nos órgãos de tratamento posteriores. Por fim, a **decantação primária** propõe-se a remover os sólidos em suspensão por intermédio de ação gravítica para que haja clarificação do efluente. O efluente permanece retido neste órgão até que ocorra a eficaz sedimentação dos sólidos suspensos por ação da gravidade. Na ETAR, é utilizado um sistema de decantação lamelar, que permite que o fluxo de efluente que passa pelas lamelas seja mais lento ocorrendo, assim, uma melhor decantação dos sólidos. A água já clarificada segue então para tratamento secundário e as lamas que são produzidas serão tratadas posteriormente na fase sólida, após a sua recolha. A figura 6 ilustra uma parte do edifício onde o Sedipac 3D executa a sua ação:



Figura 6 - Processo de tratamento no SEDIPAC 3D

### 3.1.3. Tratamento Secundário

O **tratamento secundário** é efetuado por via de processos biológicos, sendo que consiste na remoção da matéria orgânica que o processo a montante não foi capaz de remover do efluente.

A água residual é colocada em contato com muitos microrganismos que irão metabolizar a matéria orgânica que será incorporada na biomassa.

Na ETAR de Gaia Litoral, o tratamento secundário baseia a sua atividade na utilização de **reatores biológicos** e, posteriormente, na **decantação secundária**.

### 3.1.3.1. Funcionamento dos reatores biológicos

Nos reatores biológicos (figura 7) é dado uso aos microrganismos com o objetivo de remover a matéria dissolvida na água residual. Neste sentido, são fornecidas as condições ideais para que os microrganismos já existentes na água residual executem o seu trabalho de consumo da matéria orgânica, induzindo-lhes o desenvolvimento e a multiplicação.

Nos reatores biológicos, onde ocorre o tratamento biológico, observa-se a formação de lamas ativadas, a partir das quais se pretende obter matéria decantável. O efluente proveniente do tratamento primário segue para os reatores biológicos, onde é fornecido oxigénio para ocorrer a metabolização da matéria orgânica.

Os reatores biológicos, através da recirculação, mantêm uma concentração aceitável de microrganismos constante. O arejamento permite manter a concentração de oxigénio mas também a agitar o reator para que a biomassa não decante.



Figura 7 - Reator biológico

## **Processo de lamas ativadas**

Um dos processos de tratamento biológico mais utilizados neste contexto, sendo aquele no qual se baseia o funcionamento da ETAR de Gaia Litoral, é o das Lamas Ativadas. Este foi um projeto desenvolvido em Manchester, Inglaterra por Arden e Lockett, em 1914, que baseia a sua ação na formação de flocos microbianos, em que o fornecimento constante e adequado de oxigénio, nutrientes e matéria orgânica, permite o desenvolvimento e crescimento das comunidades. Desta forma, baseia-se na manutenção das condições adequadas à atividade biológica, onde a recirculação de lamas decantadas surge como crucial à conservação do teor adequado de biomassa nos reatores biológicos.

O processo de lamas ativadas é sensível às flutuações de certos parâmetros, pelo que se torna relevante ter atenção aos mesmos para uma correta manutenção do desempenho do tratamento. Exemplos de fatores que podem causar perturbações no processo são as condições climáticas (que podem originar flutuações nas características e nos caudais do afluente e no comportamento da biomassa), a taxa de fornecimento de nutrientes, o caudal de recirculação, as concentrações de sólidos, o fornecimento de oxigénio, entre outros.

## **Comunidades microbiológicas**

O processo de Lamas Ativadas funciona criando condições favoráveis à atividade de alguns microrganismos, formando-se agregados bacterianos a que outros organismos se associam. Neste contexto, existem essencialmente dois grupos a considerar (Nicolau, 2007):

- Decompositores: Bactérias e fungos que têm como fonte de energia direta a matéria orgânica solúvel;
- Consumidores: Flagelados heterotróficos, ciliados, rotíferos e pequenos metazoários que têm como alimento bactérias e outros organismos;

A ausência de protozoários ciliados reflete-se numa elevada  $\text{CBO}_5$  e turbidez do efluente tratado.

Pode-se considerar que os protozoários representam cerca de 9% da biomassa em suspensão.



### 3.1.3.2. Decantação secundária

A decantação secundária (figura 8) tem como objetivo final a deposição gravítica da matéria que se encontra em suspensão. A decantação secundária tem o papel importante de separação dos sólidos em suspensão no efluente, permitindo assim a saída do efluente tratado.

Uma parte dos sólidos segue para a recirculação de lamas, cujo objetivo é levar esses sólidos para os reatores biológicos para que seja possível manter a quantidade de microrganismos nos reatores.

Depois de tratado, parte do efluente é lançado no mar através de um exutor submarino, e outra parte é sujeita a tratamento terciário.



Figura 8 - Decantação secundária

### 3.1.4. Tratamento Terciário

No tratamento terciário, a ETAR Gaia litoral utiliza filtros de areia (figura 9) e lâmpadas de ultra violeta (UV).

Parte do efluente tratado, será utilizado para rega e limpeza (lavagem), sendo nesse sentido submetido a filtração e desinfecção utilizando um sistema UV do tipo aberto, com lâmpadas de arco de mercúrio de baixa pressão de disposição horizontal.



Figura 9 - Filtro de areia

## 3.2. Fase sólida

### 3.2.1. Tratamento de lamas

O tratamento de lamas é constituído por espessamento gravítico das lamas primárias, flotação biológica, mistura das lamas espessadas com as flotadas, dando-se a formação das denominadas lamas mistas, digestão anaeróbia e desidratação por centrífuga para encaminhamento para posterior valorização agrícola. Refira-se também que durante a operação de digestão anaeróbia é produzido biogás que, na fase gasosa, será reaproveitado como fonte energética para auto-satisfazer as necessidades da instalação da ETAR, através de um grupo de cogeração que a partir dele produzirá energia elétrica.

#### 3.2.1.1. Espessamento

O espessamento das lamas tem como objetivo realizar a separação das fases líquida e sólida das lamas, reduzindo o seu volume e seguindo-as para os processos a jusante, aumentando a eficácia do sistema e reduzindo também custos de operação, pois as lamas tornam-se mais concentradas. A água removida das lamas é encaminhada para o início do tratamento da fase líquida.

O espessador (figura 10) permite, portanto, reduzir o volume de lamas e encaminhá-las para os processos subsequentes.



Figura 10 - Espessador

### 3.2.1.2. Flotação

No processo de flotação, pretende-se remover os sólidos que apresentam menores dimensões sendo portanto inviável a separação gravítica. Para remover os sólidos é necessário injetar no flotador (figura 10) um fluxo de ar ascendente no seu interior, de modo a que os sólidos sejam arrastados para a superfície juntamente com as bolhas de ar.



Figura 11 - Flotador

### 3.2.1.3. Digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia é uma reação bioquímica realizada em basicamente três fases, por diversos tipos de bactérias, na total ausência de oxigénio. O grupo de bactérias fundamental nesse processo é o grupo de **bactérias metanogénicas**, que atuam na última etapa, formando o **metano** ( $\text{CH}_4$ ).

#### 1ª Fase:

Nesta primeira fase, a matéria orgânica é convertida em moléculas menores pela ação de bactérias hidrolíticas e fermentativas. As primeiras transformam proteínas em peptídeos e aminoácidos, polissacarídeos em monossacarídeos, gorduras em ácidos gordos, pela ação de enzimas extracelulares, como a protease, a amilase e a lipase.

Depois, bactérias fermentativas transformam esses produtos em ácidos solúveis (ácido propiónico, por exemplo), álcoois e outros compostos. Nessa etapa também são

formados dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), hidrogénio gasoso ( $\text{H}_2$ ) e ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ).

### **2ª Fase:**

Nesta etapa, bactérias acetogénicas transformam os produtos obtidos na primeira etapa em ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), hidrogénio ( $\text{H}_2$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Essas bactérias são facultativas, ou seja, elas podem atuar tanto em meio aeróbio como anaeróbio. O oxigénio necessário para efetuar essas transformações é retirado dos compostos que constituem o material orgânico.

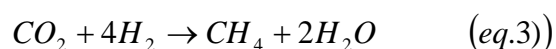
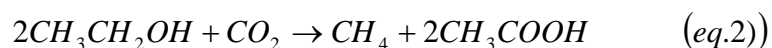
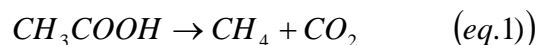
### **3ª Fase:**

A última etapa na produção do biogás é a **formação de metano**. As bactérias metanogénicas, as que formam o metano, transformam o hidrogénio ( $\text{H}_2$ ), o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e o ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) em metano ( $\text{CH}_4$ ) e  $\text{CO}_2$ .

Estas bactérias são obrigatoriamente anaeróbias e extremamente sensíveis a mudanças no meio, como temperatura e pH.

As bactérias envolvidas na formação do biogás atuam de modo simbiótico. As bactérias que produzem ácidos geram os produtos que serão consumidos pelas bactérias metanogénicas. Sem esse consumo, o acumulo excessivo de substâncias tóxicas afetaria as bactérias produtoras de ácidos.

O processo de formação de metano é assim descrito por intermédio de equações químicas (Dioha, I. J., 2013):



As figuras 12 e 13 ilustram os dois digestores onde se dá o processo de digestão anaeróbia.



Figura 12 - Digestor 1



Figura 13 - Digestor 2

## Desidratação

A lama resultante da digestão anaeróbia é enviada para a centrífuga onde se pretende remover o máximo de água possível das lamas.

As lamas são desidratadas para simplificar o seu transporte e também o manuseamento. Depois de desidratadas, as lamas armazenadas em contentores durante algum tempo na ETAR seguem depois para utilização como fertilizante agrícola, na compostagem.

Esse fertilizante, chamado biofertilizante, apresenta grande quantidade de azoto e fósforo (principais componentes dos adubos industrializados), além da grande facilidade de imobilização pelos microorganismos no solo devido ao avançado grau de decomposição.

### 3.3. Fase gasosa

A fase gasosa na estação é aquela que engloba todo o processo que se dá desde a produção de biogás a partir da digestão anaeróbia até à produção de energia elétrica posteriormente utilizada na ETAR.

O biogás é uma mistura gasosa composta principalmente por 40 a 70% de metano ( $\text{CH}_4$ ) e 30 a 60% de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Há, no entanto, outros gases que o constituem, embora em percentagens pouco significativas, como são os casos do hidrogénio ( $\text{H}_2$ ) que corresponde a entre 0 e 1% do volume de gás produzido e o sulfureto de hidrogénio ( $\text{H}_2\text{S}$ ) que corresponde a uma faixa entre 0 a 3% do volume.

O poder calorífico do biogás é aproximadamente  $6 \text{ kWh/m}^3$ , o que corresponde a aproximadamente meio litro de gasóleo. O principal componente do biogás, quando se pensa em usá-lo como combustível, é o metano.

A temperatura, o pH, os nutrientes e as condições atmosféricas são alguns dos fatores a ter em conta no caudal de biogás produzido (ver Anexo IV).

Comparativamente com o gás natural, o biogás tem a vantagem de ser uma fonte de energia renovável e inesgotável, por ser produzido pela degradação de resíduos orgânicos, o que não sucede com o gás natural.

Após a produção do biogás nos digestores, este é encaminhado para o gasómetro (figura 14) onde é armazenado. De seguida, este passa pelo purificador, onde se pretende diminuir a concentração do  $\text{H}_2\text{S}$  que poderá ter um efeito corrosivo nas tubagens no grupo de cogeração (figura 15) para onde se dirige seguidamente para dar início à produção de energia elétrica com ação prévia dos compressores do biogás (figura 16), onde se agita a lama no interior dos digestores, da caldeira (figura 17), no caso de a água não ter sido aquecida no grupo de cogeração, e dos permutadores de calor (figura 18), onde se dão as trocas de calor entre a água e a lama que se encontra nos digestores, de modo a que estes se mantenham a  $37^\circ \text{C}$ . Em caso de falha no processo acima descrito, proceder-se-á à queima/combustão do biogás na tocha (figura 19) e consequente produção de energia.



Figura 14 - Gasómetro





Figura 15 - Grupo de cogeração



Figura 16 - Compressores de biogás



Figura 17 - Caldeira



Figura 18 - Permutadores de calor



Figura 19 - Tocha

## 4. Desodorização

Para efetuar a desodorização do ar contaminado, a ETAR Gaia Litoral utiliza sistemas de lavagem química através da utilização de torres de grandes dimensões que estão dispostas em série. As torres são construídas em plástico armado resistente aos gases e aos reagentes utilizados. Neste sistema de tratamento, o ar circula em cada torre de baixo para cima enquanto que a solução de lavagem química circula de cima para baixo.

Na ETAR são utilizadas três torres (figura 20) para o sistema de lavagem química:

Para a lavagem ácida é utilizado o ácido sulfúrico para que ocorra a eliminação do amoníaco e das aminas.

A lavagem oxidante utiliza o hipoclorito de sódio ( $\text{NaClO}$ ) para eliminar o sulfureto de hidrogénio, os sulfuretos orgânicos e também algum amoníaco e aminas.

Por último a lavagem alcalina utiliza a soda cáustica/hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ) para eliminar os ácidos carboxílicos, o sulfureto de hidrogénio e alguma parte do  $\text{CO}_2$  presente no ar.



Figura 20 - Torres de desodorização

## 5. Controlo Analítico

Ao longo do período de estágio na ETAR de Gaia Litoral, foram realizadas análises diárias aos vários parâmetros de avaliação do estado do efluente ao longo do



processo de tratamento até que são enviadas para o mar no final desse mesmo processo, de modo a haver um acompanhamento constante da sua eficácia e a manter sob controlo e registadas todas as incidências ocorridas diariamente.

Deste modo, dividiu-se o controlo analítico de acordo com as propriedades/características das amostras em estudo, isto é, se pertencem à linha líquida ou à linha sólida de tratamento (tabela 3). À medida que foram sendo obtidos resultados consequentes dos procedimentos executados, foram sendo registados os valores obtidos para cada parâmetro nas fichas diárias (ver anexo I) da ETAR.

Tabela 3- Controlo analítico

Linha líquida	Linha sólida
pH	
Volume de decantação	
CBO <sub>5</sub>	pH
CQO	ST
SST	Sicidade
SSV	Alcalinidade
SVI	AGV
azoto total	SV
catião amónio	SST
nitratos	SSV
fósforo total	

## 5.1. Procedimentos analíticos

Vários foram os procedimentos diários efetuados no laboratório da ETAR, com vista a obter resultados que, após análise e comparação, permitiriam concluir acerca da condição da amostra em estudo e, consequentemente, da eficácia pontual das várias etapas do processo de tratamento da água residual:

### 5.1.1. CBO<sub>5</sub>

A CBO<sub>5</sub> consiste na medição da quantidade de oxigénio consumido, durante um período de incubação de 5 dias. O oxigénio consumido é utilizado para a degradação bioquímica da matéria orgânica mas também de compostos inorgânicos (ex: sulfuretos

e ferro (II)), a não ser que estes processos sejam impedidos pela adição de substâncias químicas inibidoras.

A oxidação de algumas formas de azoto (amónia e óxidos de azoto) constitui uma forte interferência na determinação da  $\text{CBO}_5$ . Numerosos fatores como a existência de sólidos em suspensão ou a falta de agitação podem afectar a precisão e exatidão da determinação de  $\text{CBO}_5$ .

## Procedimento

### Método oxitop

- Colocar em cada frasco o volume correspondente à amostra;
- De acordo com a amostra, adicionar a solução desnitrificante;
- Colocar a barra magnética no frasco;
- Colocar duas pastilhas de hidróxido de sódio na manga de borracha;
- Enroscar o manómetro ao frasco e colocar na incubadora (fig. 21)
- Após cinco dias, visualizar os valores médios de cada dia.

Neste método, é utilizada uma correspondência de volumes, como indicado na tabela 4:

**Tabela 4 - Correspondência de volumes**

Volume de amostra (ml)	Intervalo de $\text{CBO}_5$ (mg/l)	Fator de diluição	Solução desnitrificante (nº gotas)
432	0-40	1	9
365	0-80	2	7
250	0-200	5	5
164	0-400	10	3
97	0-800	20	2
43.5	0-2000	50	1
22.7	0-4000	100	1

A medição é realizada durante 5 dias onde há o registo automático de valores. Estes são convertidos em  $\text{CBO}_5$  utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{CBO}_5 \text{ (mg/l)} = \text{Valor indicado no mostrador} \times \text{Fator de diluição}$$

O método oxitop é aplicado diretamente a todas as águas cuja CBO seja inferior a 4000 mg/L.



Figura 21 – Incubadora WTW Model T5 606/2 com sistema Oxitop para  $\text{CBO}_5$

### 5.1.2. CQO

A medição da CQO consiste num teste utilizado para determinar a quantidade de oxigénio equivalente à matéria orgânica de uma amostra, que é suscetível de oxidação por um oxidante químico forte.

Foi utilizado o termoreator Spectroquant® TR320 da Merck (figura 22) com 12 espaços para os tubos dos kits, com vários programas adequados a cada parâmetro em estudo, contendo temperaturas e tempos de funcionamento adaptáveis à execução de cada um destes.

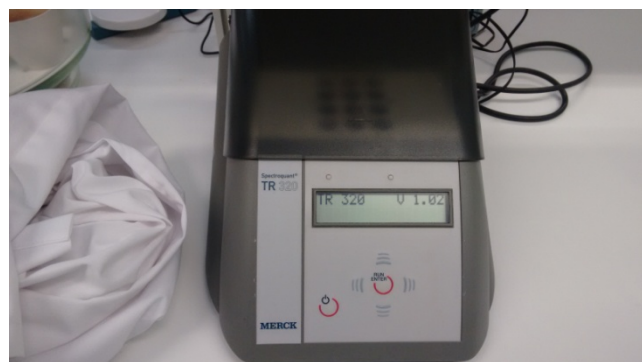


Figura 22 – Termoreator Spectroquant® TR320 da Merck

## Procedimento

Para o procedimento, foram seguidas as instruções presentes no manual de laboratório:

- Agitar a cuvete de reação;
- Pipetar 2,0 ml de amostra. Agitar vigorosamente;
- Aquecer no termoreator durante 2h a 148°;
- Deixar arrefecer, durante 10 minutos, e agitar verticalmente;
- Deixar arrefecer até à temperatura ambiente;
- Efetuar a leitura no fotómetro

### 5.1.3. Determinação de SST e SSV

Os SST obtêm-se filtrando uma amostra através de um filtro de fibra de vidro previamente condicionado e posteriormente seco a 105° numa estufa, sendo que o aumento de peso do filtro representa a quantidade de SST. Os SST de uma amostra de água residual urbana são tipicamente constituídos por duas frações: a fração dos sedimentáveis e a fração coloidal, onde se encontram a matéria orgânica degradável, a inerte orgânica e a mineral.

Nos SSV a amostra é submetida à temperatura de 550° numa mufla por um período de 30 minutos após terem sido determinados os SST. A diferença entre a massa do resíduo dos SST e a do resíduo resultante do passo anterior corresponde aos SSV. Estes são originários da fração sedimentável, assim como da fração coloidal.

A determinação deste parâmetro é útil pelo fato de nos fornecer uma estimativa da concentração de biomassa presente na fração sólida de uma água residual, lamas ativadas ou outro tipo de amostras da linha líquida.

### Procedimento para a determinação de SST

- Filtrar um volume (V) (figura 23);
- Colocar o filtro na estufa durante 1h, a 105°C;

- Transferir para o exsicador até peso constante.

### Procedimento para a determinação de SSV

- Colocar os filtros em cadinhos;
- Colocar os cadinhos na mufla a 550°C, durante 30 minutos;
- Deixar os cadinhos arrefecer ao ar até que o calor se tenha dissipado;
- Transferir para o exsicador até peso constante.



Figura 23 - Copos de filtração

#### 5.1.4. Determinação de ST e SV

Denominam-se Sólidos Totais (ST) a quantidade de amostra retida num cadinho após a evaporação e secagem a 105° na estufa marca Memmert (figura 24).

Estes dividem-se em três frações: matéria sedimentada, coloidal e dissolvida. As três frações são constituídas por matéria orgânica inerte e mineral mas em proporções distintas.

Para determinação dos Sólidos Voláteis (SV) a amostra é submetida a uma temperatura de 550° na mufla por um período de 2 horas após terem sido determinados os ST. A diferença entre os resíduos dos ST com o resíduo resultante corresponde aos SV. Estes têm origem na fração sedimentável, coloidal e dissolvida.

A determinação deste parâmetro é útil pelo facto de nos fornecer uma estimativa da concentração de biomassa presente nos diferentes órgãos de tratamento.



Figura 24 – Estufa marca Memmert

#### Procedimento para a determinação de ST

- Pesar o cadinho vazio;
- Medir 50 ml de amostra e colocar no cadinho;
- Colocar o cadinho na estufa a 105°C num período nunca inferior a 24h;
- Transferir para o exsicador até peso constante.

#### Procedimento para a determinação de SV

- Colocar o cadinho na mufla (figura 25) durante 2h a 550°C;
- Transferir para o exsicador até peso constante.



Figura 25 - Mufla

### 5.1.5. Determinação da alcalinidade das lamas

A determinação da alcalinidade das lamas presentes nos digestores anaeróbios é importante devido à informação que fornece relativamente à eficiência da digestão e consequentemente à produção de biogás.

A alcalinidade é uma medida equivalente à quantidade de carbonato de cálcio necessário para neutralizar a acidez da solução devido ao  $\text{CO}_2$  produzido durante a digestão anaeróbia. À medida que as bactérias produzem ácidos, o pH do meio diminui. No entanto, devido à capacidade tampão, o pH pouco varia.

#### Procedimento

- Medir 25 ml de lama (Digestor 1, Digestor 2, Lama Mista) e centrifugar (figura 26) a 5000 rpm durante 10 minutos + 10 minutos;
- Recolher o sobrenadante;
- Adicionar 50 ml de água destilada ao sedimento;
- Voltar a centrifugar a 5000 rpm durante 10 minutos + 10 minutos;
- Recolher novamente o sobrenadante;
- Agitar o sobrenadante com um agitador magnético e registar o pH;
- Usando uma bureta, adicionar  $\text{H}_2\text{SO}_4$  até atingir pH = 4 (ver anexo V)



Figura 26 - Centrífuga

#### 5.1.6. Determinação dos Ácidos Gordos Voláteis

Os AGV (ácidos gordos voláteis) permitem avaliar a produção de ácido acético, tendo portanto especial relevância no processo de digestão anaeróbia, e consequentemente, na produção de biogás.

##### Procedimento

- Usando a amostra da alcalinidade e na mesma uma bureta com  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , adicionar até obter um  $\text{pH} = 3,5$ ;
- Ferver durante 3 minutos;
- Usando uma bureta com  $\text{NaHO}$ , devemos adicionar até obter um  $\text{pH} = 4$  (V1) e registar o valor;
- Depois continuar a adicionar até obter  $\text{pH} = 7$  (V2) e registar o valor. (anexo V)

#### 5.1.7. Determinação do catião amónio ( $\text{NH}_4^+$ )

A análise deste parâmetro é útil na medida em que este tem especial importância no crescimento de cianobactérias que possuem um efeito potencialmente nocivo na qualidade da água.

##### Procedimento

- Filtrar a amostra;
- Pipetar para uma cuvete de reação 0,1 ml da amostra;
- Adicionar uma dose do reagente  $\text{NH}_4^+-1\text{K}$  (Merck);
- Agitar vigorosamente;
- Deixar em repouso durante 15 minutos;
- Efetuar a leitura no fotómetro.



#### 5.1.8. Determinação dos nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )

Os nitratos são uma fonte de azoto que pode ser assimilada por cianobactérias, sendo utilizada por estas como nutriente no seu metabolismo e crescimento.

Os nitratos correspondem ao produto final de oxidação dos compostos azotados (ver Anexo III).

##### Procedimento

- Filtrar as amostras;
- Pipetar para uma cuvete de reação 1 ml da amostra;
- Adicionar cuidadosamente 1,0 ml do reagente  $\text{NO}_3^-$ -1K (Merck) e agitar;
- Deixar em repouso 10 minutos;
- Ler no fotómetro.

#### 5.1.9. Determinação do Azoto total ( $\text{N}_t$ )

O azoto (ver Anexo III) é um elemento essencial nos sistemas biológicos visto que caso não esteja presente nas águas residuais não há desenvolvimento dos microrganismos essenciais para o êxito do tratamento secundário.

##### Procedimento

- Pipetar para a cuvete vazia 1 ml da amostra;
- Adicionar 9,0 ml de água destilada, usando um pompete;
- Adicionar 1 dose do reagente N-1K (Merck);
- Adicionar 6 gotas de reagente N-2K (Merck);
- Aquecer no termoreator durante 1 hora a  $120^\circ\text{C}$ ;
- Deixar arrefecer até a temperatura ambiente;
- Pipetar para uma cuvete de reação 1,0 ml da amostra (preparada na cuvete);

- Adicionar 1,0 ml do reagente N-3K (Merck);
- Deixar arrefecer 10 minutos;
- Efetuar a leitura no fotómetro.

#### 5.1.10. Determinação do Fósforo total ( $P_t$ )

O fósforo (ver Anexo III) é um nutriente importante para o crescimento de algas e microrganismos biológicos, no entanto é necessário que seja controlado para evitar que ocorra a eutrofização (excesso de nutrientes que provoca um aumento de biomassa podendo levar à diminuição do oxigénio dissolvido alterando a qualidade da água e também à morte de alguns microrganismos) (Metcalf & Eddy, 2003)

#### Procedimento

- Pipetar para uma cuvete de reação 1,0ml da amostra;
- Adicionar uma dose do reagente P-1K (Merck);
- Aquecer no termoreator durante 30 minutos a 120°C;
- Deixar arrefecer à temperatura ambiente;
- Adicionar 5 gotas do reagente P-2K (Merck);
- Adicionar uma dose do reagente P-3K (Merck);
- Agitar vigorosamente;
- Ao fim de 5 minutos efetuar a leitura no fotómetro

O fotómetro utilizado no final da execução das etapas de determinação da CQO e dos nutrientes ( $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ ,  $N_t$  e  $P_t$ ) é o Spectroquant® NOVA 30 (figura 27) da Merck. Este está apto para efetuar a leitura das concentrações dos parâmetros importantes para análise da água residual. Este fotómetro é móvel e funciona tanto a pilhas ou ligado à corrente elétrica.



Figura 27 - Fotómetro

#### 5.1.11. Volume de decantação

O volume de decantação é determinado de forma a fazer uma simulação do trabalho realizado pelo decantador secundário, onde se dá a separação dos sólidos suspensos no efluente por deposição gravítica, e consequente saída do efluente tratado.

#### Procedimento

- Homogeneizar a amostra;
- Transferir a amostra para 4 provetas de vidro de 1000ml;
- Aguardar 30 minutos;
- No final dos 30 minutos ler o volume de lama sedimentada no final da proveta.

## 6. Resultados do controlo analítico

### 6.1. Linha líquida

#### 6.1.1. Caudal à entrada da ETAR

Os caudais afluentes médios na ETAR de Gaia Litoral evoluíram ao longo dos meses da forma ilustrada no gráfico da figura 28:

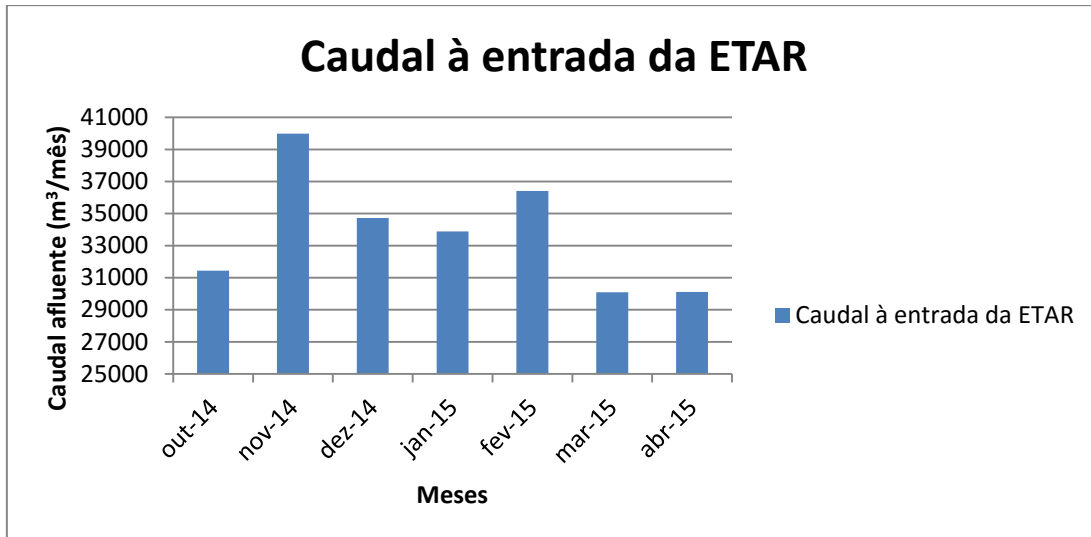


Figura 28 - Gráfico do caudal à entrada da ETAR

Como é observável no gráfico da figura 28, o caudal à entrada da ETAR (caudal afluente) atingiu, no período de estágio, o seu máximo no mês de novembro de 2014 com o caudal médio mensal de 39982 m<sup>3</sup>, atingindo o seu mínimo no mês de março de 2015 com o caudal médio mensal de 30093 m<sup>3</sup>.

A interpretação destes dados é indissociável da precipitação ocorrida nesses meses. De acordo com os registos do IPMA, Novembro foi, de fato, o mês com mais precipitação na zona norte onde se insere a região onde se situa a ETAR e zonas circundantes de entre os visados, o que explica os resultados obtidos relativos ao caudal afluente.

Relativamente ao caudal mínimo observado relativo ao mês de março, os dados do IPMA suportam os valores registados na medida em que, com precipitações totais verificadas na ordem dos 10 a 25 mm, é o mês, de entre os sujeitos a estudo, em que se verificou menor precipitação.

### 6.1.2. Efluente à saída

Após efetuado o controlo analítico das amostras referentes às várias etapas de tratamento do efluente, procedeu-se à comparação dos resultados obtidos com as condições de descarga do efluente final dispostas na legislação aplicável (Decreto-Lei nº 152/97, de 19 de junho), tendo-se obtido, para os parâmetros SST, CBO<sub>5</sub> e CQO,

os gráficos ilustrados nas figuras 29, 30 e 31, respetivamente. Na tabela 5, apresentam-se os Valores Limite de Emissão para esses mesmos parâmetros:

Tabela 5 - Valores Limite de Emissão por parâmetro

Parâmetro	VLE
Carência Bioquímica de Oxigénio (mg/l O <sub>2</sub> )	25
Carência Química de Oxigénio (mg/l O <sub>2</sub> )	125
Total de Partículas Sólidas em Suspensão (mg/l)	35

### 6.1.2.1. Gráficos comparativos

#### 6.1.2.1.1. CQO vs Valor Limite de Emissão

Relativamente à avaliação efetuada ao parâmetro Carência Química de Oxigénio (CQO) à saída da ETAR, é possível observar no gráfico da figura 29 que este se encontra bem abaixo dos valores limites de emissão (125 mg/l O<sub>2</sub>) durante todo o período de realização do estágio. Significa isto que o efluente se encontra em boas condições para descarga.

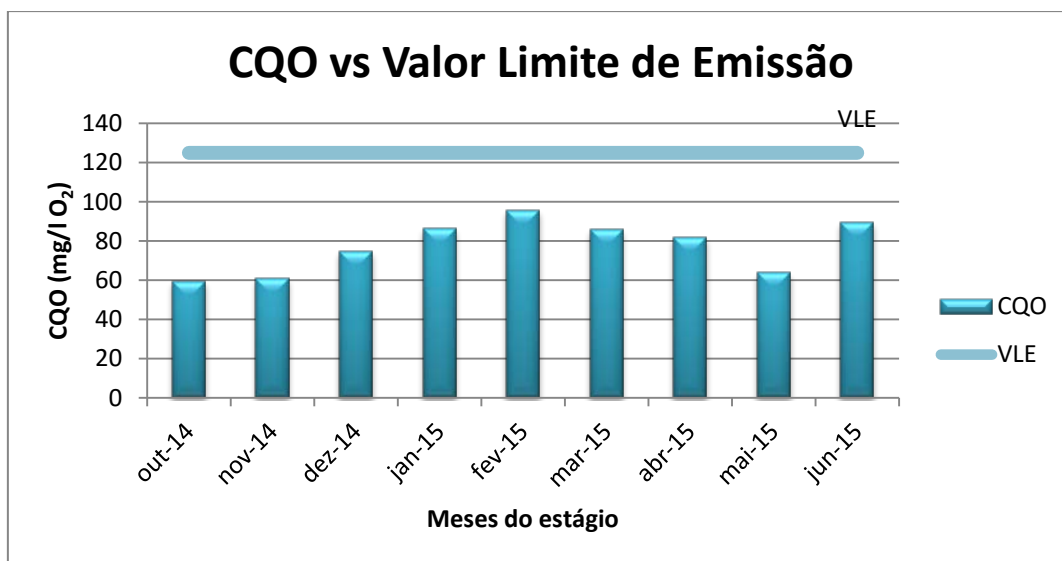


Figura 29 - Gráfico CQO vs VLE

#### 6.1.2.1.2. CBO<sub>5</sub> vs Valor Limite de Emissão

Relativamente à avaliação efetuada ao parâmetro Carência Bioquímica de Oxigénio ao fim de 5 dias (CBO<sub>5</sub>) à saída da ETAR, é possível observar no gráfico da figura 30 que este se encontra abaixo dos valores limites de emissão (25 mg/l O<sub>2</sub>) durante todo o período de realização do estágio. Isto significa que durante a oxidação biológica da matéria orgânica ou inorgânica o oxigénio não foi consumido nas concentrações que tornariam o efluente impróprio para descarga no mar.

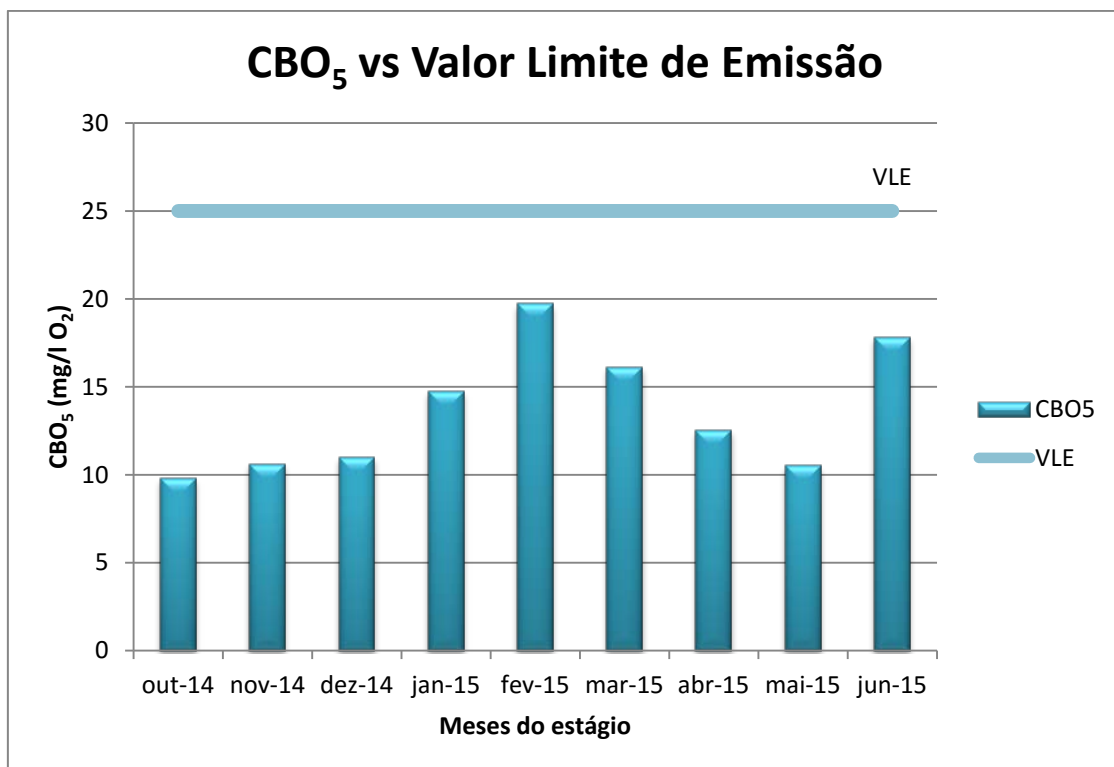


Figura 30 - Gráfico CBO<sub>5</sub> vs VLE

#### 6.1.2.1.3. SST vs Valor Limite de Emissão

Relativamente à avaliação efetuada ao parâmetro SST à saída da ETAR, é possível observar no gráfico da figura 31 que este se encontra abaixo dos valores limites de emissão (35 mg/l) durante todo o período de realização do estágio. Significa isto que o processo de tratamento anterior à fase de descarga do efluente no mar por via de um exutor submarino foi executado com eficácia e que este se encontra em condições adequadas de poder ser tido como tratado.

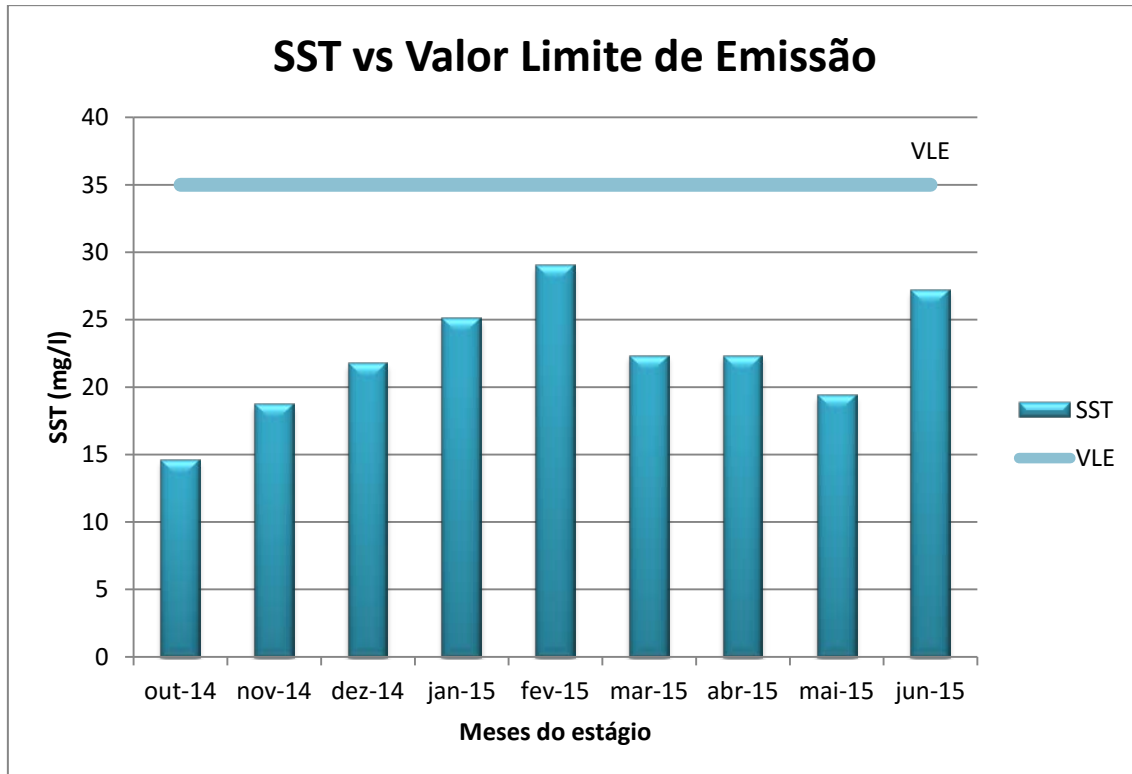


Figura 31 - Gráfico SST vs VLE

### 6.1.3. Taxas de redução

Ao longo dos meses de estágio foram sendo registados os resultados obtidos relativos às diversas amostras em estudo provenientes das diversas etapas do tratamento, entre elas, na linha líquida, a obra de entrada (afluente), a entrada e saída do órgão de tratamento Sedipac 3D, os tanques biológicos e canal, a saída e os retornos. O estudo incidiu na análise comparativa dos parâmetros SST, CQO e CBO<sub>5</sub> da água residual à entrada e do efluente final, sendo analisadas as suas taxas de redução ao longo do processo. Os parâmetros atrás referidos variaram de acordo com o ilustrado no gráfico da fig. 32:

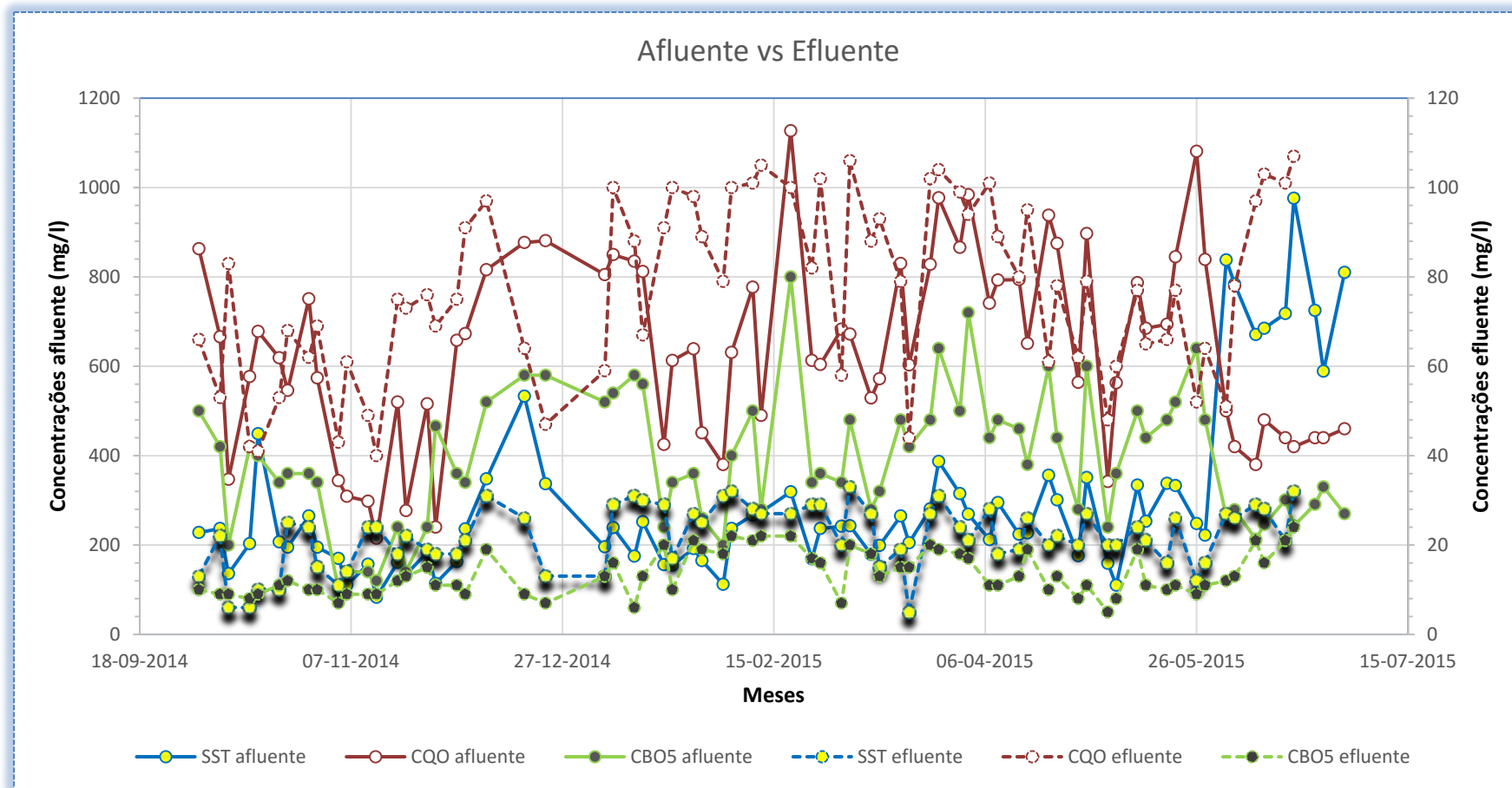


Figura 32 – Comparação dos valores dos parâmetros para o afluente (linha contínua) com os do efluente (linha a tracejado)



Como é possível observar no gráfico da figura 32 (linhas contínuas no eixo da esquerda e linhas tracejadas no eixo da direita), os três parâmetros em estudo registaram reduções acentuadas na sua concentração ao fim de cada um dos 9 meses de duração do estágio, sendo que no caso do CBO<sub>5</sub> e do CQO os picos máximos no afluente foram observados no mês de Fevereiro de 2015 e os mínimos no mês de Novembro de 2014, enquanto que os SST registaram um pico máximo de concentração no afluente bastante acentuando no mês de Junho, quando comparado com os restantes meses.

Com vista a ter uma noção mais exata acerca da taxa de redução média mensal de cada um dos parâmetros analisados (SST, CQO e CBO<sub>5</sub>), compararam-se os resultados obtidos com os valores estabelecidos de percentagem mínima de redução presentes no Decreto-lei nº 152/97 de 19 de Junho, no Quadro nº 1 (tabelas 6-8):

**Tabela 6 - Taxa de redução de SST**

<b>Mês/ano</b>	<b>Taxa de redução (%)</b>
<b>Outubro/14</b>	94
<b>Novembro/14</b>	87
<b>Dezembro/14</b>	93
<b>Janeiro/15</b>	87
<b>Fevereiro/15</b>	87
<b>Março/15</b>	91
<b>Abril/15</b>	92
<b>Maió/15</b>	92
<b>Junho/15</b>	89

O Decreto-lei nº 152/97 de 19 de Junho, no Quadro nº 1 define a percentagem mínima de redução de SST em estações de tratamento de águas residuais urbanas em 70%. Como se pode observar na tabela 6, em nenhum mês se regista uma taxa de redução média abaixo do mínimo legalmente exigido, sendo que até a percentagem mais baixa registada nos meses de Novembro de 2014 e Janeiro e Fevereiro de 2015 se situa bastante acima dos 70% mínimos legislados (87%).

A ETAR de Gaia Litoral cumpriu portanto com os requisitos relativos à percentagem mínima de redução referentes ao parâmetro SST, pelo que se pode concluir que, de acordo com este, o efluente está apto para descarga no mar.

**Tabela 7 - Taxa de redução da CQO**

<b>Mês/ano</b>	<b>Taxa de redução (%)</b>
<b>Outubro/14</b>	90
<b>Novembro/14</b>	82
<b>Dezembro/14</b>	90
<b>Janeiro/15</b>	87
<b>Fevereiro/15</b>	86
<b>Março/15</b>	88
<b>Abril/15</b>	90
<b>Mai/15</b>	91
<b>Junho/15</b>	89

O Decreto-lei nº 152/97 de 19 de Junho, no Quadro nº 1 define a percentagem mínima de redução de CQO em estações de tratamento de águas residuais urbanas em 75%. Como se pode observar na tabela 7, em nenhum mês se regista uma taxa de redução média abaixo do mínimo legalmente exigido, sendo que até a percentagem mais baixa registada no mês de Novembro de 2014 se situa bastante acima dos 75% mínimos legislados (82%).

A ETAR de Gaia Litoral cumpriu portanto com os requisitos relativos à percentagem mínima de redução referentes ao parâmetro CQO, pelo que se pode concluir que, de acordo com este, o efluente está apto para descarga no mar.

**Tabela 8 - Taxa de redução da CBO<sub>5</sub>**

<b>Mês/ano</b>	<b>Taxa de redução (%)</b>
<b>Outubro/14</b>	97
<b>Novembro/14</b>	95
<b>Dezembro/14</b>	98
<b>Janeiro/15</b>	97
<b>Fevereiro/15</b>	95
<b>Março/15</b>	96
<b>Abril/15</b>	97
<b>Mai/15</b>	98
<b>Junho/15</b>	96

O Decreto-lei nº 152/97 de 19 de Junho, no Quadro nº 1 define a percentagem mínima de redução de  $\text{CBO}_5$  em estações de tratamento de águas residuais urbanas em 70%-90%. Como se pode observar na tabela 8, em nenhum mês se regista uma taxa de redução média abaixo do mínimo legalmente exigido, sendo que até a percentagem mais baixa registada nos meses de Novembro de 2014 e Fevereiro de 2015 se situa bastante acima dos 70%-90% mínimos legislados (95%). A taxa de remoção média para cada mês deste parâmetro é demonstrativa de uma excelente eficiência na remoção de matéria orgânica do efluente.

A ETAR de Gaia Litoral cumpriu portanto com os requisitos relativos à percentagem mínima de redução referentes ao parâmetro  $\text{CBO}_5$ , pelo que se pode concluir que, de acordo com este, o efluente está apto para descarga no mar.

## **6.2. Fase sólida**

Deste outubro de 2014 até junho de 2015, após medidos os valores relativos à fase sólida (ver anexo II), concluiu-se que a variabilidade relativa dos dados foi de 0,7% para o pH no Digestor 1, 0,6% no Digestor 2, 4,3% nas Lamas Primárias, 7,5% no Espessador, 1,2% no Flotador e 6,0% na Lama Mista.

Quanto aos ST a variabilidade relativa dos dados foi de 5,5% para o Digestor 1, 6,3% no Digestor 2, 68,6% nas Lamas Primárias, 11,2% no Espessador, 15,2% no Flotador e 6,0% na Lama Mista.

Quanto aos SV a variabilidade relativa dos dados foi de 7,2% para o Digestor 1, 7,7% no Digestor 2, 70,2% nas Lamas Primárias, 13,1% no Espessador, 15,3% no Flotador e 18,6% na Lama Mista.

Quanto aos AGV a variabilidade relativa dos dados foi de 33,6% para o Digestor 1, 33,1% no Digestor 2 e 48,9% na Lama Mista.

Quanto à alcalinidade a variabilidade relativa dos dados foi de 18,3% para o Digestor 1, 11,2% no Digestor 2 e 43,0% na Lama Mista.

Tanto as médias registadas para cada parâmetro avaliado na fase sólida, como os desvios-padrão associados, a partir dos quais foram calculadas as variabilidades relativas acima enumeradas, estão descritas no Anexo II.

## 7. Análise dos Componentes Principais

Análise dos Componentes Principais (PCA, Principal Component Analysis) é um método de análise exploratória de dados que visa separar a informação relevante, escondida na matriz dos dados, da não relevante, ou ruído. Através do PCA, um novo sistema ortogonal de eixos é definido de maneira a que cada componente principal (PC) represente um eixo, ao longo do qual a máxima variação nos dados é descrita. A primeira componente principal (PC1) é definida pela direção (eixo) da variância máxima dos dados, a segunda (PC2) é ortogonal à primeira, modelando a direção da segunda variância máxima, e assim sucessivamente. Os dados transformados, *scores*, podem ser então representados no novo espaço de componentes principais (*score plot*). A interpretação da variância modelada por cada componente principal permite então fazer inferências sobre as razões porque os dados estão distribuídos conforme o *score plot*, podendo ser acedidos através dos *loadings* das relações (*loading plots*), nos quais as contribuições das variáveis iniciais para a construção de cada componente principal podem ser observadas. Deste modo, a estrutura dos dados ocultos, isto é, os agrupamentos, os *clusters*, as tendências, entre objetos (*score relationships*), bem como a correlação entre variáveis responsáveis (*loading relationships*), é revelada. (Lymperatou et al., 2015)

## 8. Resultados PCA

No sentido de avaliar a importância dos diversos parâmetros das águas residuais, presentes em cada um dos elementos da cadeia de tratamento de águas da ETAR, sobre os níveis de produção de biogás da ETAR, a técnica quimiométrica de análise dos componentes principais (PCA) foi aplicada aos dados para uma análise preliminar dos efeitos.

Começou por se calcular as matrizes de correlação dos valores médios mensais da produção de biogás e dos parâmetros físico-químicos das águas residuais, nomeadamente o pH, ST, SV, AGV e Alcalinidade, medidos entre outubro de 2014 e maio de 2015 nos diversos elementos da cadeia de tratamento de águas da ETAR, nomeadamente nos Digestores 1 e 2 (D1 e D2), Lamas Primárias (LP), Espessador (ESP), Flotador (FLOT) e Lama Mista (LM).

Nas próximas secções serão apresentadas as matrizes correlação e será feita a sua análise detalhada. Em todas as matrizes está omissa o valor da auto-correlação das variáveis.

### Digestores e lama mista

As matrizes correlação para os Digestores 1 e 2 e Lamas Mistas, são apresentadas, respetivamente, nas tabelas 9, 10 e 11.

**Tabela 9 - Matriz Correlação para os vários parâmetros das águas residuais do D1 e a produção média mensal de biogás**

	ST	SV	AGV	Alk	BioGás
pH	0,5436	0,5966	0,3950	0,7647	0,5559
ST		0,9555	0,7554	0,5757	0,6126
SV			0,8119	0,7348	0,7425
AGV				0,4403	0,6790
Alk					0,8332

**Tabela 10 - Matriz Correlação para os vários parâmetros das águas residuais do D2 e a produção média mensal de biogás**

	ST	SV	AGV	Alk	BioGás
pH	0,2345	0,4306	0,5002	0,7125	0,5478
ST		0,9421	0,0685	0,4046	0,3527
SV			0,2437	0,6683	0,5524
AGV				0,4886	0,6177
Alk					0,8575

**Tabela 11 - Matriz Correlação para os vários parâmetros das águas residuais das Lamas Mistas e a produção média mensal de biogás**

	ST	SV	AGV	Alk	BioGás
pH	-0,8370	-0,8447	-0,6364	-0,1971	0,0164
ST		0,9935	0,5361	0,0138	0,0746
SV			0,5496	0,0438	0,1422
AGV				0,8037	0,3864
Alk					0,4179

A Análise das três matrizes mostra que existe uma correlação positiva forte ( $|r| \in [0,8 - 1,0]$ ) entre as variáveis ST e SV em todos os casos.

Nos digestores 1 e 2 existe também correlação positiva forte entre a alcalinidade das águas e a produção de biogás. A correlação entre essas variáveis é muito fraca ( $|r| \in [0 - 0,5]$ ) nas lamas mistas.

Uma correlação forte existe também entre o SV e AGV no digestor 1 (mas não no digestor 2),

Correlação forte negativa existe também, entre pH e ST ou SV, nas lamas mistas.

Uma correlação moderada ( $|r| \in [0,5 - 0,8]$ ) existe entre a maioria das restantes variáveis do digestor 1 (10) mas o número de correlações moderadas diminui para o digestor 2 (6) e é muito reduzida nas lamas mistas (4).

## Lamas primárias, espessador e flotador

As matrizes correlação para as lamas primárias, espessador e flotador, são apresentadas, respetivamente, nas tabelas 12, 13 e 14.

**Tabela 12 - Matriz Correlação para os vários parâmetros das águas residuais das Lamas Primárias e a produção média mensal de biogás**

	ST	SV	BioGás
pH	-0,9744	-0,9719	0,2989
ST		0,9939	-0,1949
SV			-0,1805

**Tabela 13 - Matriz Correlação para os vários parâmetros das águas residuais do Espessador e a produção média mensal de biogás**

	ST	SV	BioGás
pH	-0,3750	-0,4061	0,5478
ST		0,9829	-0,2163
SV			-0,1613

**Tabela 14 - Matriz Correlação para os vários parâmetros das águas residuais do Flotador e a produção média mensal de biogás**

	ST	SV	BioGás
pH	0,1286	0,2118	0,5240
ST		0,9900	0,4031
SV			0,4768

A análise destas três matrizes mostra que existe uma correlação forte positiva entre as variáveis ST e SV em todos os casos. Apenas nas lamas primárias é que o pH apresenta uma fortemente correlação com os sólidos (Voláteis e Totais), apresentando, nos outros elementos, uma reduzida correlação.

No espessador e no flotador, o pH apresenta uma correlação positiva moderada com a produção de biogás.

O facto dos parâmetros Sólidos Voláteis e Sólidos Totais apresentarem correlações fortes em todos os elementos da ETAR sugere a proposta de uma equação linear geral que permita calcular um dos parâmetros a partir do outros. Para o efeito fez-se uma análise por regressão linear dos dados de todos os elementos da ETAR.

A análise dos parâmetros obtidos por regressão linear dos dados  $SV = f(ST)$  de cada elemento da ETAR, indicou que seria melhor fazer uma regressão linear dos dados agrupados de elementos diferentes. Assim, para além da regressão efetuada com todos os dados de todos os elementos (A1; **D1+D2+LM+LP+ESP+FLOT**), fizeram-se mais duas análises de regressão linear; uma com os dados dos Digestores 1 e 2, Lama Primária e Flotador (A2 = **D1+D2+LP+FLOT**) e outra com os dados da Lama Mista e Espessador (A3 = **LM+ESP**).

Com base nas regressões, calcularam-se os valores de  $SV'$  a partir dos valores experimentais de ST e calculou-se (em %) o erro médio relativo ( $E_{SV'}$ ) dos valores calculados, assim como o erro mínimo ( $E_{min}$ ) e máximo ( $E_{max}$ ) e o desvio padrão do erro relativo ( $\sigma_{Erro}$ ).

O erro médio relativo foi calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$E_{SV'} = \frac{|SV - SV'|}{SV} \times 100$$

Em que  $SV'$  é calculado como está indicado na tabela 15 e  $SV$  é o valor experimental associado a ST.



Tabela 15 - Parâmetros da regressão linear dos dados (ST; SV)

$SV' = m \times ST + b$	A1	A2	A3
Declive (m)	0,8672	0,7289	0,8666
Interceção na origem (b)	-2505	268,1	-2176
R	0,9948	0,9211	0,9926
$E_{SV'} (\%)$	11,33	11,47	2,501
$E_{\min}$	0,03073	6,597	0,3661
$E_{\max}$	43,66	18,33	5,791
$\sigma_{\text{Erro}}$	9,559	2,898	1,365

A análise da tabela 15 mostra que, nos agrupamentos A1 e A2, o erro médio da determinação de SV' a partir de ST é da ordem dos 11% mas no agrupamento A2 temos uma dispersão muito menor (2,90) do que no agrupamento A1 (9,56).

A análise global da tabela mostra que é preferível usar fórmulas diferentes para o cálculo de SV' a partir dos valores de ST de unidades diferentes, tal como foram agrupadas em A2 e A3.

No agrupamento A3 o erro médio da determinação de SV' a partir de ST é da ordem dos 2,5%, mas no agrupamento A2 esse valor é comparável ao do agrupamento A1.

### Análise dos Componentes principais

Como já foi referido, fez-se uma análise dos componentes principais sobre a matriz dos valores médios mensais da produção de biogás e dos parâmetros físico-químicos das águas residuais, nomeadamente, pH, ST, SV, AGV e Alcalinidade, medidos entre outubro de 2014 e maio de 2015 nos diversos elementos da cadeia de tratamento de águas da ETAR, nomeadamente nos Digestores 1 e 2 (D1 e D2), Lamas Primárias (LP), Espessador (ESP), Flotador (FLOT) e Lama Mista (LM).

A PCA teve como objetivo fazer uma análise exploratória dos dados, já que esta permite identificar as tendências do rendimento da produção do biogás (CH<sub>4</sub>) baseado nos diferentes níveis das variáveis (parâmetros físico-químicos) das águas residuais e identificar os parâmetros mais importantes da matriz de dados multivariados.

Para o efeito foi utilizado o software STATISTICA 12 da StatSoft (Dell Software corporation™).

A análise dos dados foi precedida da normalização da matriz de dados por forma a permitir uma melhor comparação das variâncias.

### Digestor 1

A figura 33 representa o “Scree plot” obtido para o Digestor 1. O gráfico mostra que os dois primeiros componentes principais explicam 86,8% da variância dos dados da matriz e são por isso os únicos a reter.

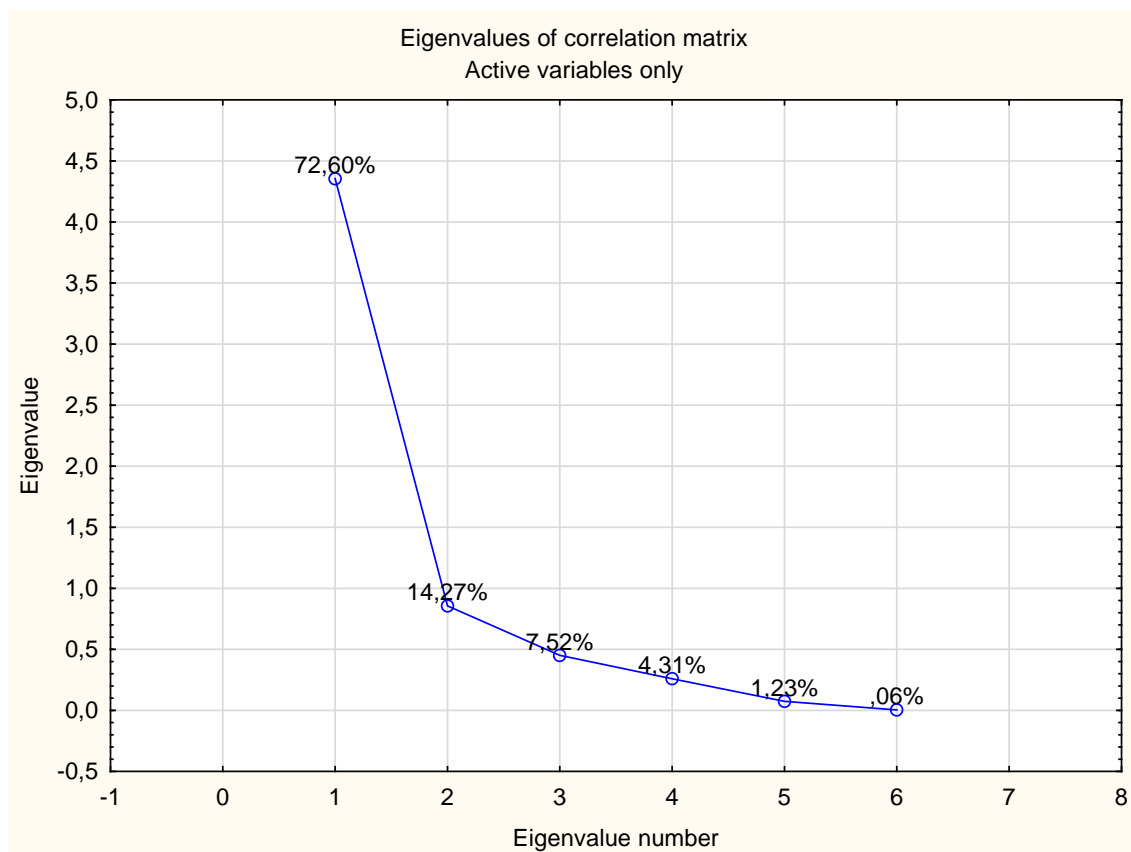


Figura 33 - "Scree plot" da matriz de dados do D1

A figura 34, corresponde ao “Loadings plot” da matriz de dados do Digestor 1. O gráfico mostra a correlação das variáveis (parâmetros físico-químicos) no espaço dos

dois componentes principais. Os seis parâmetros são essencialmente modelados pelo primeiro componente principal e estão extremamente correlacionados com este. A figura mostra ainda que, neste espaço, o pH e a alcalinidade estão fortemente correlacionados entre si, mas são independentes dos parâmetros SV, ST e AGV. A produção de biogás apresenta uma boa correlação com o pH e a alcalinidade, mas gradualmente menor com os restantes parâmetros (SV, ST e AGV).

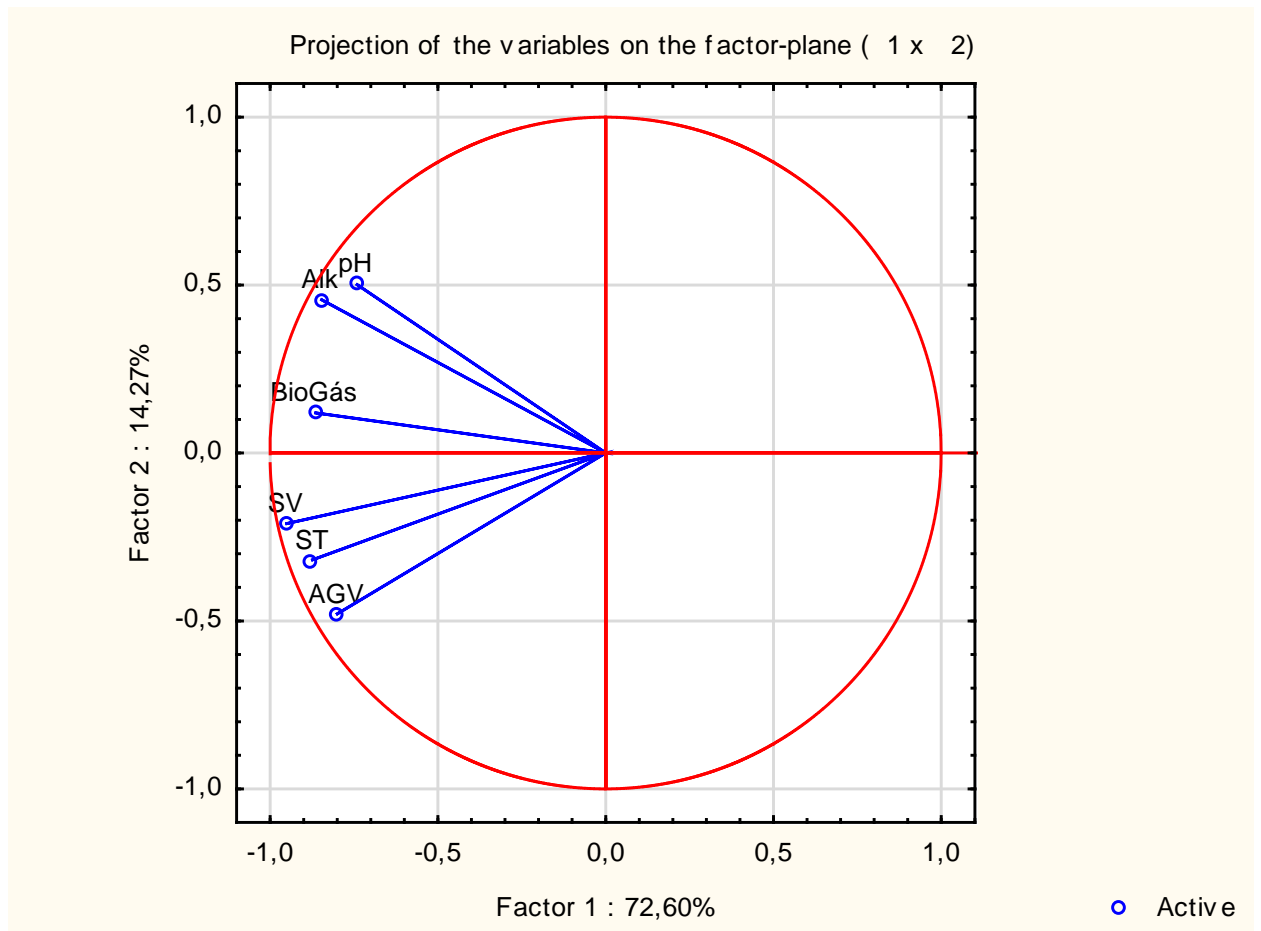


Figura 34 - "Loadings plot" da matriz de dados do D1

A figura 35, corresponde ao "Scores plot" da matriz de dados do Digestor 1. O gráfico mostra a correlação dos meses ao longo do qual foram feitas as determinações dos parâmetros físico-químicos e do biogás, representados no espaço dos dois componentes principais.

O PC1 separa claramente os meses de outono/inverno dos meses de primavera. Este resultado sugere que a inclusão dos registos de temperatura deve ser tida em conta.

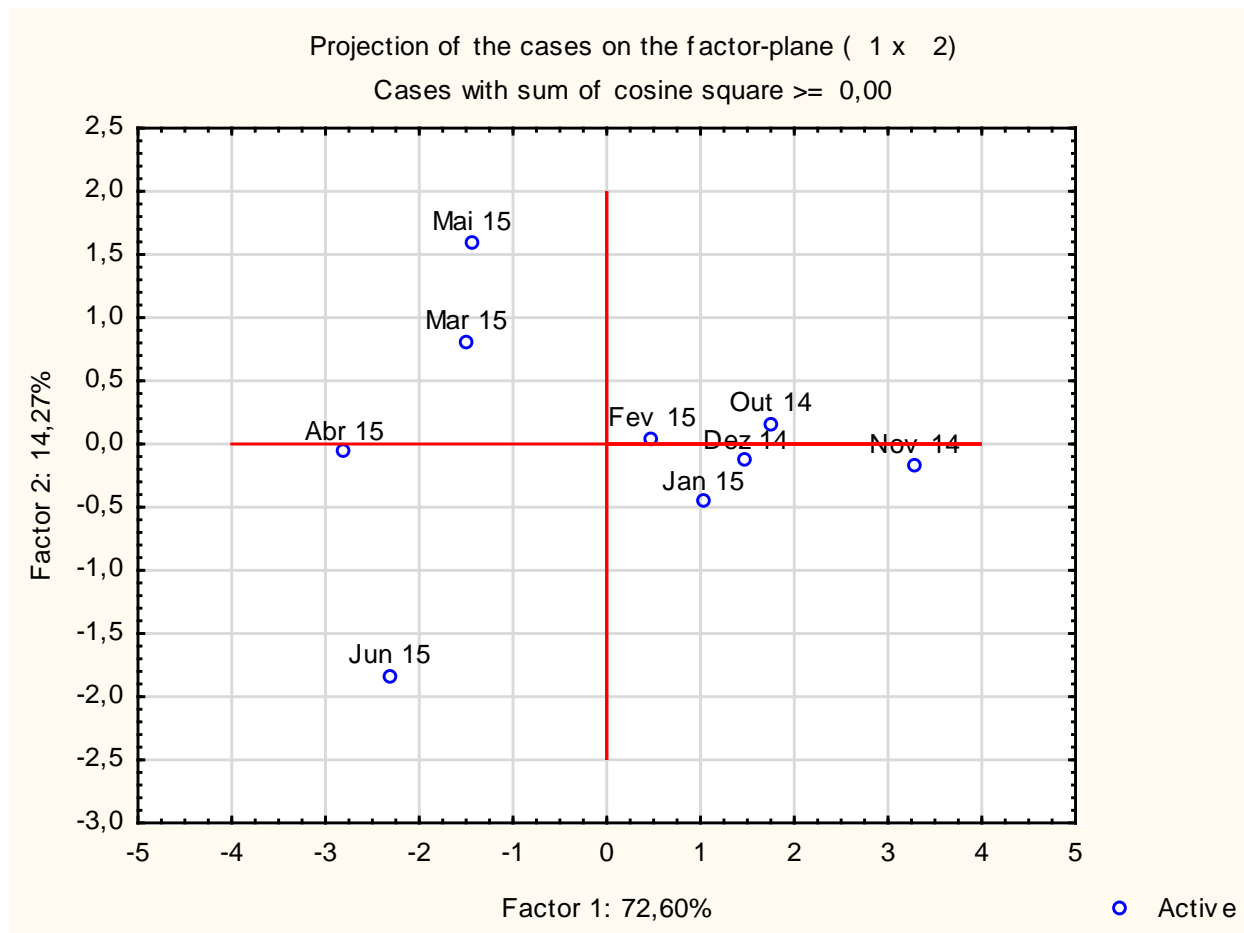


Figura 35 - "Scores plot" da matriz de dados do D1

A tabela 16 apresenta os dados dos "Scree plots" dos restantes elementos de tratamento de águas da ETAR.

**Tabela 16 - Número de valores próprios, respetivos valores e variância explicada associada para os diversos elementos da ETAR.**

$\lambda$ nº	$\lambda$ (% Variância explicada)					
	D1	D2	LM	LP	ESP	FLOT
1	4,36 (72,6%)	3,61 (60,12%)	3,38 (56,38%)	3,03 (75,87%)	2,40 (59,96%)	2,44 (60,91%)
2	0,86 (14,27%)	1,35 (22,46%)	1,69 (28,20%)	0,93 (23,37%)	1,16 (29,12%)	1,14 (28,53%)
3	0,45 (7,52%)	0,523 (8,70%)	0,73 (12,18%)	0,025 (0,61%)	0,42 (10,61%)	0,42 (10,43%)
4	0,26 (4,32%)	0,42 (6,98%)	0,15 (2,44%)	0,006 (0,15%)	0,013(0,32%)	0,053 (0,13%)
5	0,074 (1,32%)	0,098 (1,64%)	0,045 (0,76%)	-----	-----	-----
6	0,004 (0,06%)	0,004 (0,07%)	0,003 (0,04%)	-----	-----	-----

Tal como no caso do Digestor 1, os dois primeiros componentes principais explicam mais de 83% da variância total dos dados de cada uma das respetivas matrizes de dados e são, por isso os únicos, a reter.

## Digestor 2

A figura 36, representa o “Loadings plot” da matriz de dados do Digestor 2. O gráfico é muito semelhante ao do Digestor 1, com a exceção de que aqui o parâmetro AGV passou a estar correlacionado com os parâmetros pH, Biogás e Alcalinidade. Os seis parâmetros são essencialmente modelados pelo primeiro componente principal e estão extremamente correlacionados com este. A figura mostra ainda que, neste espaço, o pH, a Alcalinidade e o Biogás estão fortemente correlacionados entre si, mas são independentes dos parâmetros SV, ST.

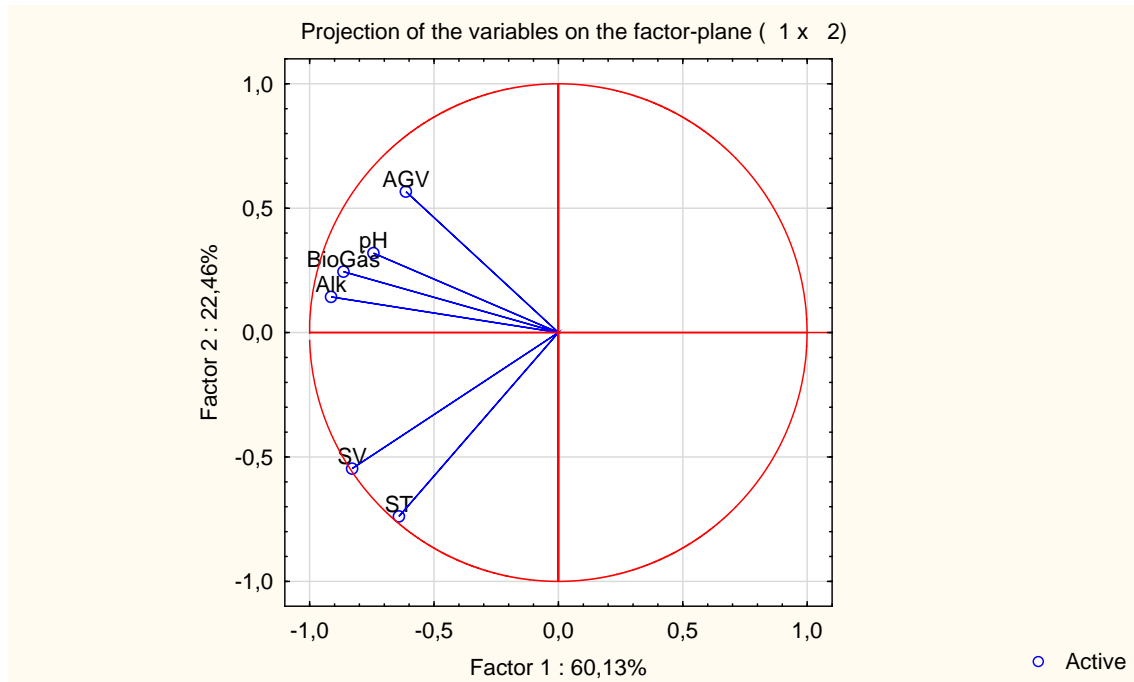


Figura 36 - "Loadings plot" da matriz de dados do Digestor 2

A figura 37, corresponde ao "Scores plot" da matriz de dados do Digestor 2. O gráfico mostra o mesmo efeito verificado no gráfico equivalente para o Digestor 1, isto é, o PC1 separa claramente os meses de outono/inverno dos meses de primavera. Mais uma vez se conclui que a temperatura poderá ter algum efeito.

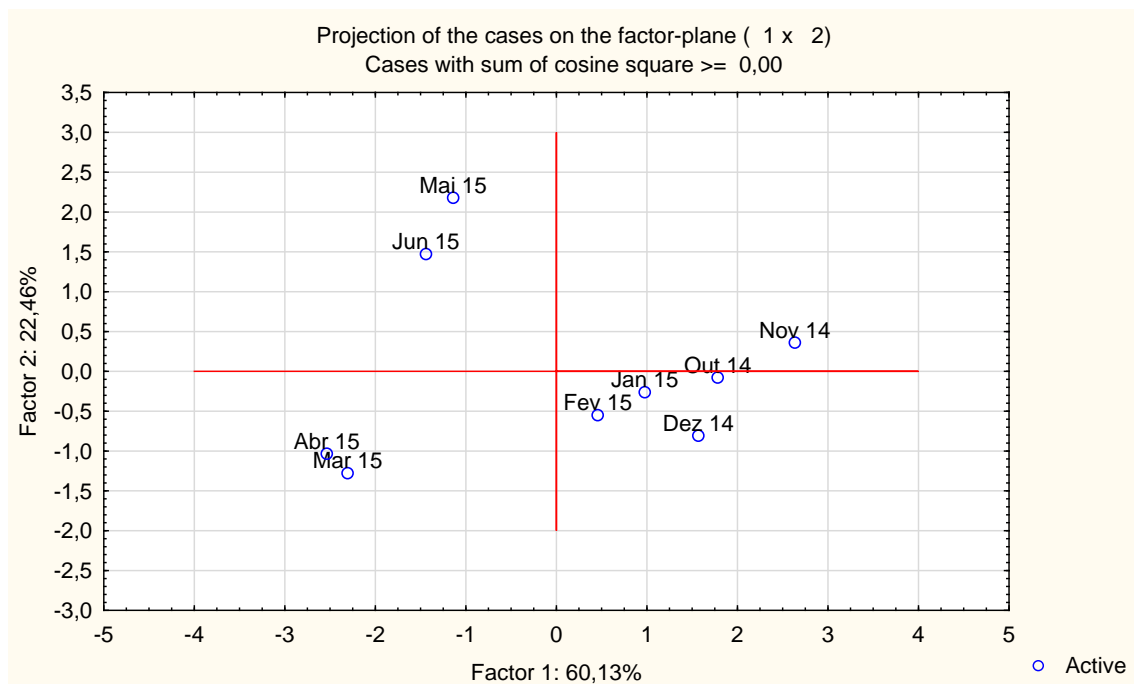


Figura 37 - "Scores plot" da matriz de dados do Digestor 2

## Lama mista

Na figura 38 está representado o “Loadings plot” da matriz de dados referentes à unidade de LM. O gráfico é bastante diferente dos dois anteriores. Neste caso existe uma forte correlação entre os ST e os SV mas estes apresentam uma correlação negativa com o pH. O biogás e a alcalinidade apresentam também uma correlação muito acentuada. Atendendo a que estas lamas são as que alimenta diretamente a unidade de produção de biogás, esta correlação entre o produto biogás e a alcalinidade deve ser investigada em trabalhos futuros.

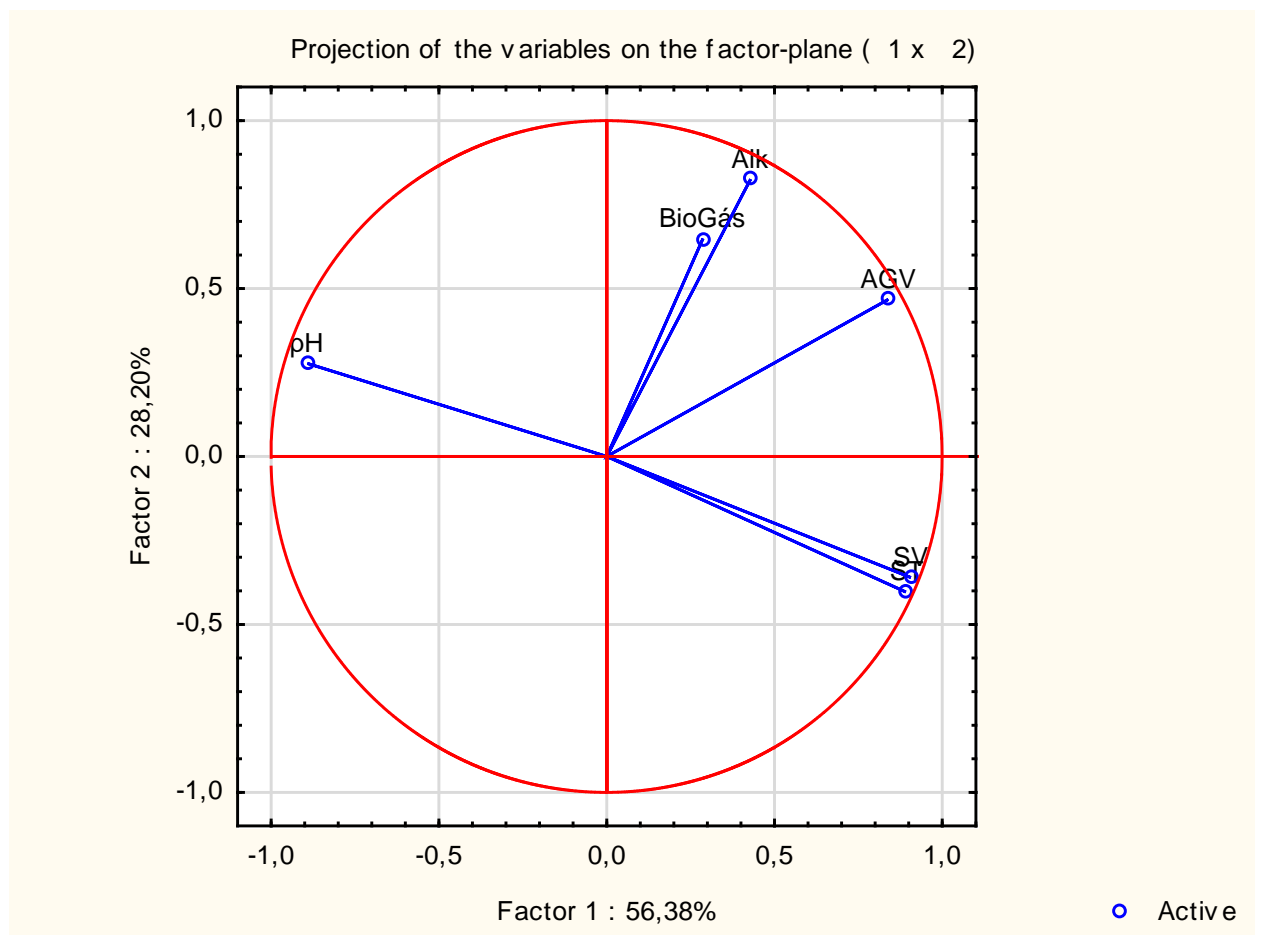


Figura 38 - “Loadings plot” da matriz de dados das Lamas Mistas

A figura 39 (“Scores plot”) referente às lamas mistas, mostra que o elemento que permite uma ligeira separação entre os meses de outono/inverno dos meses de

primavera é agora o PC2. Por falta de alguns dados de alguns parâmetros, o mês de maio não foi considerado na análise por PCA.

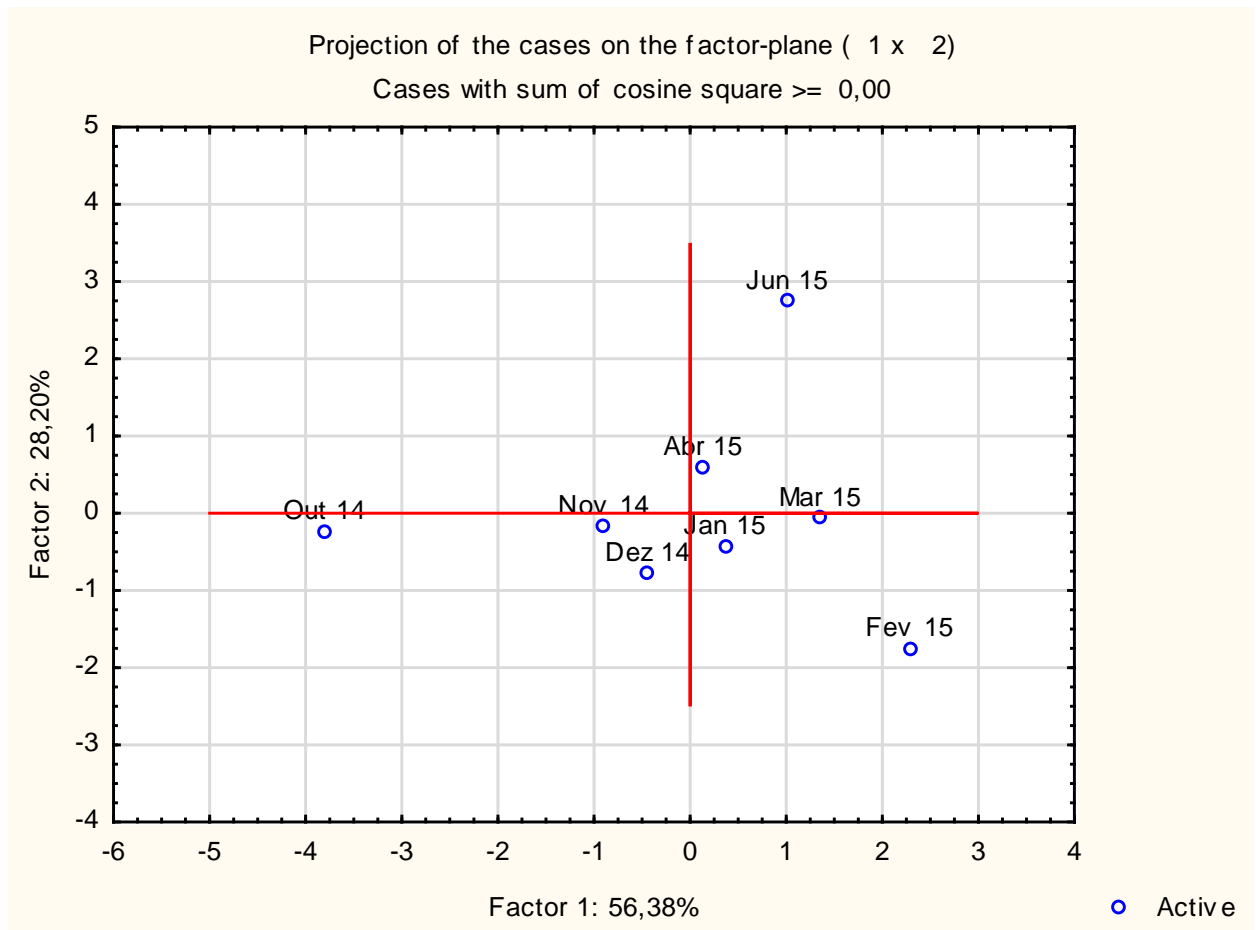


Figura 39 - “Scores plot” da matriz de dados das Lamas Mistas

### Lama primária

Na figura 40 está representado o “Loadings plot” da matriz de dados referentes à unidade de LP. O gráfico é bastante diferente dos anteriores porque só foram analisadas 4 parâmetros das águas, SV, ST pH e Biogás. Neste caso existe uma forte correlação entre os ST e os SV mas estes apresentam uma correlação negativa com o pH. Estes três parâmetros não apresentam correlação com o biogás.



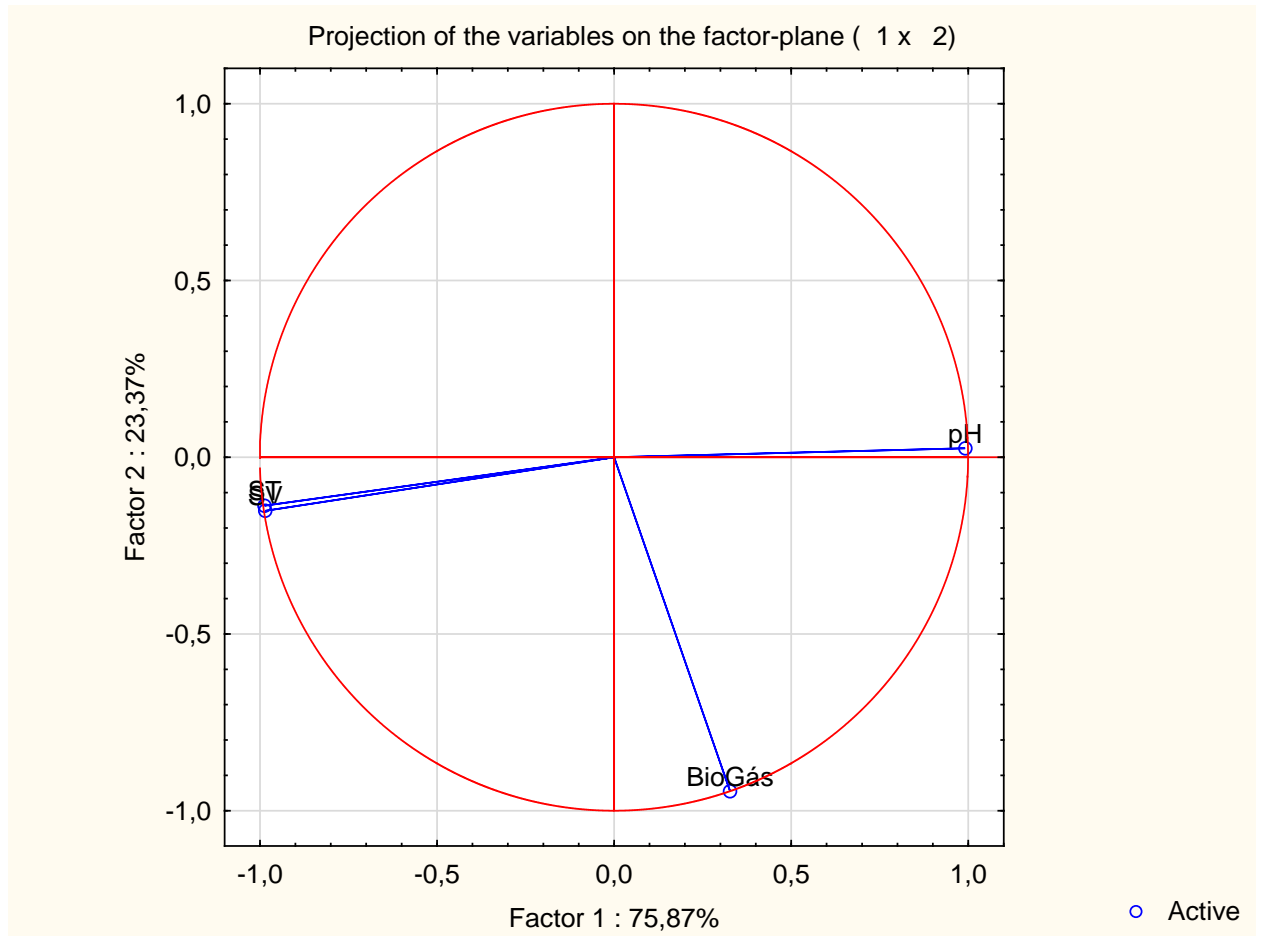


Figura 40 - "Loadings plot" da matriz de dados das Lamas primárias

A figura 41 ("Scores plot") é referente às lamas primárias. Tal como se verificou para as lamas mistas, o PC2 é o elemento que permite uma ligeira separação entre os meses de outono/inverno dos meses de primavera. A maior produção de biogás acontece nos meses da primavera, como está patente nas tabelas com os dados de produção mensal do biogás.

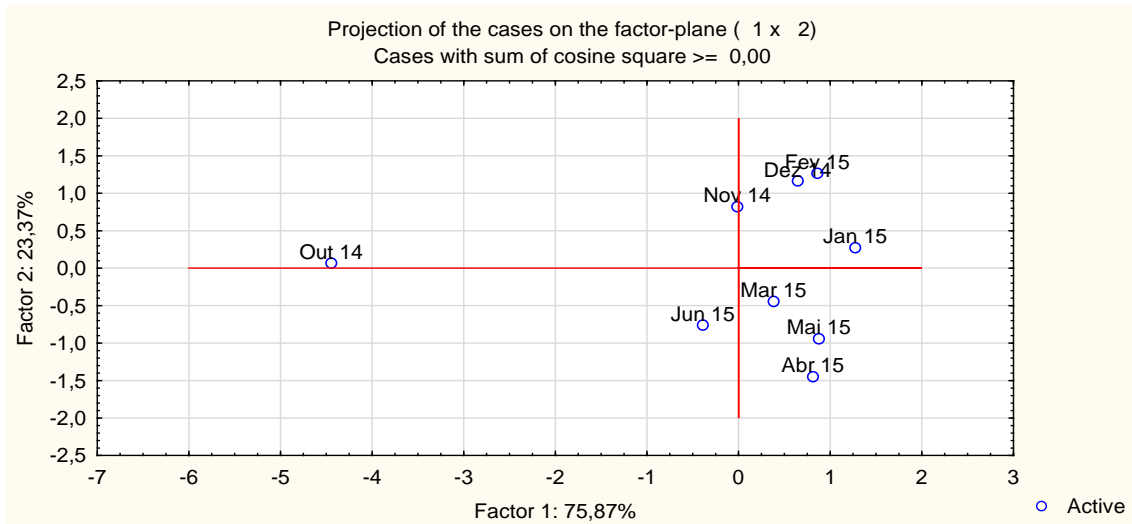


Figura 41 - “Scores plot” da matriz de dados das Lamas Primárias.

## Espessador

Na figura 42 , “Loadings plot” da matriz de dados referentes ao espessador, tal como caso anterior, só foram analisadas 4 parâmetros das águas, SV, ST pH e Biogás. Existe também neste caso uma forte correlação entre os ST e os SV mas estes parâmetros não apresentam correlação com o biogás e o pH. Já estes dois parâmetros aparecem, mais uma vez bem correlacionados. Apesar de não existirem dados da alcalinidade para este elemento, continua a observar-se uma tendência para que o Biogás e a alcalinidade (e pH) estejam bem correlacionados

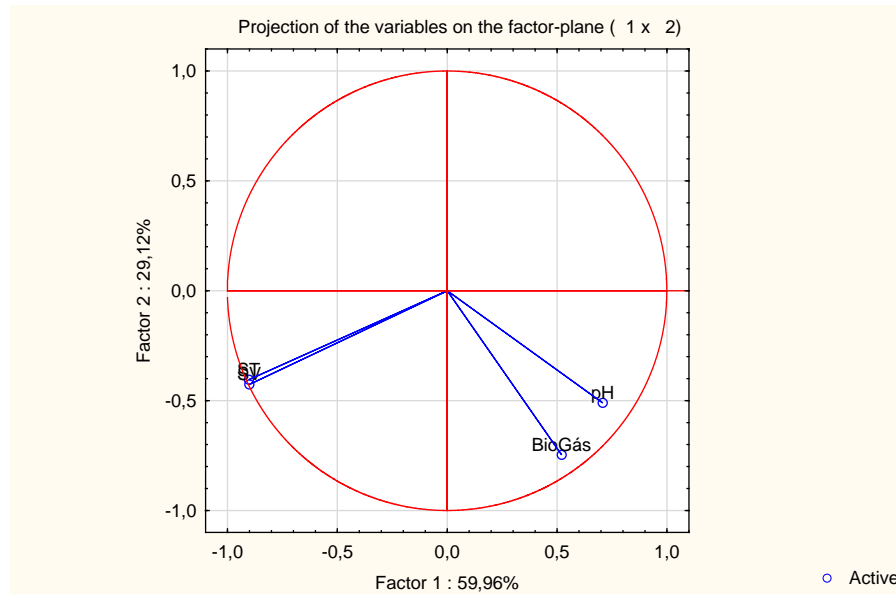


Figura 42 - "Loadings plot" da matriz de dados do Espessador

A figura 43 ("Scores plot") é referente ao Espessador. Tal como se verificou para as lamas mistas e Lamas Primárias, o PC2 é o elemento que permite uma ligeira separação entre os meses de outono/inverno dos meses de primavera. Contudo neste caso o mês de Junho aparece associado aos meses mais frios.

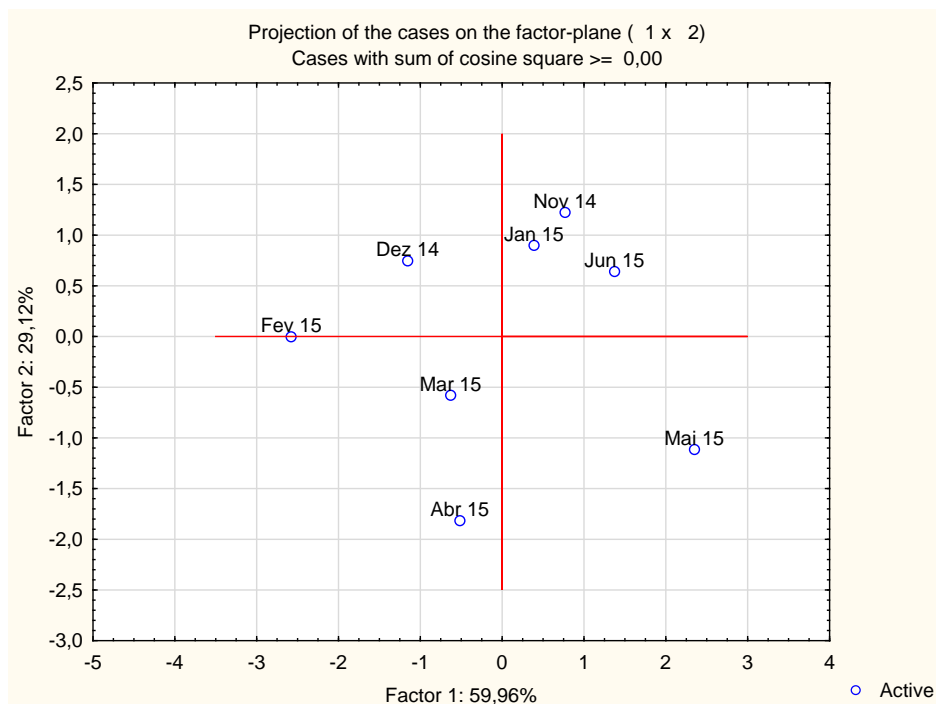


Figura 43 - "Scores plot" da matriz de dados do Espessador.

## Flotador

Na figura 44, “Loadings plot” da matriz de dados referentes ao Flotador, pode-se observar, mais uma vez, uma forte correlação entre o pH e o Biogás. Tal como no caso anterior, só foram analisados 3 parâmetros das águas, SV, ST e pH e ainda o Biogás. Existe também neste caso uma forte correlação entre os ST e os SV, mas estes parâmetros não apresentam correlação com o biogás e o pH.

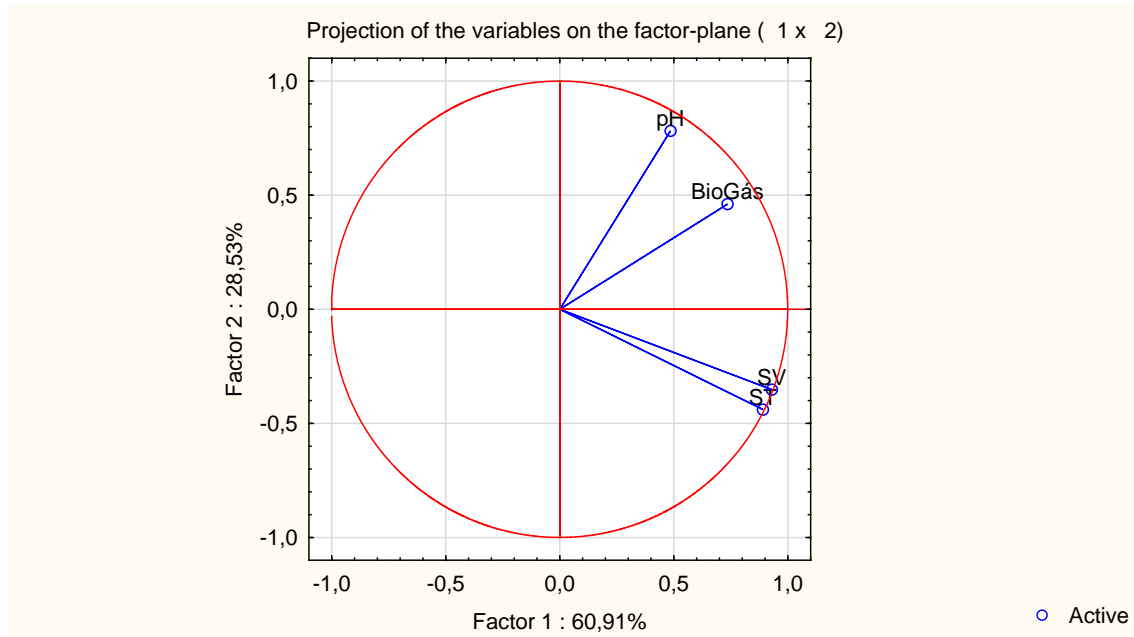


Figura 44 - “Loadings plot” da matriz de dados do Flotador

A figura 45 (“Scores plot”) é referente ao Flotador. Ao contrário do que se verificou para as lamas mistas e Lamas Primárias, o PC2 é um elemento que não permite uma discriminação tão evidente entre os meses de outono/inverno dos meses de primavera, dando a entender que a temperatura não é um fator tão relevante na produção de biogás. Contudo neste caso o mês de Junho aparece associado aos meses mais frios.

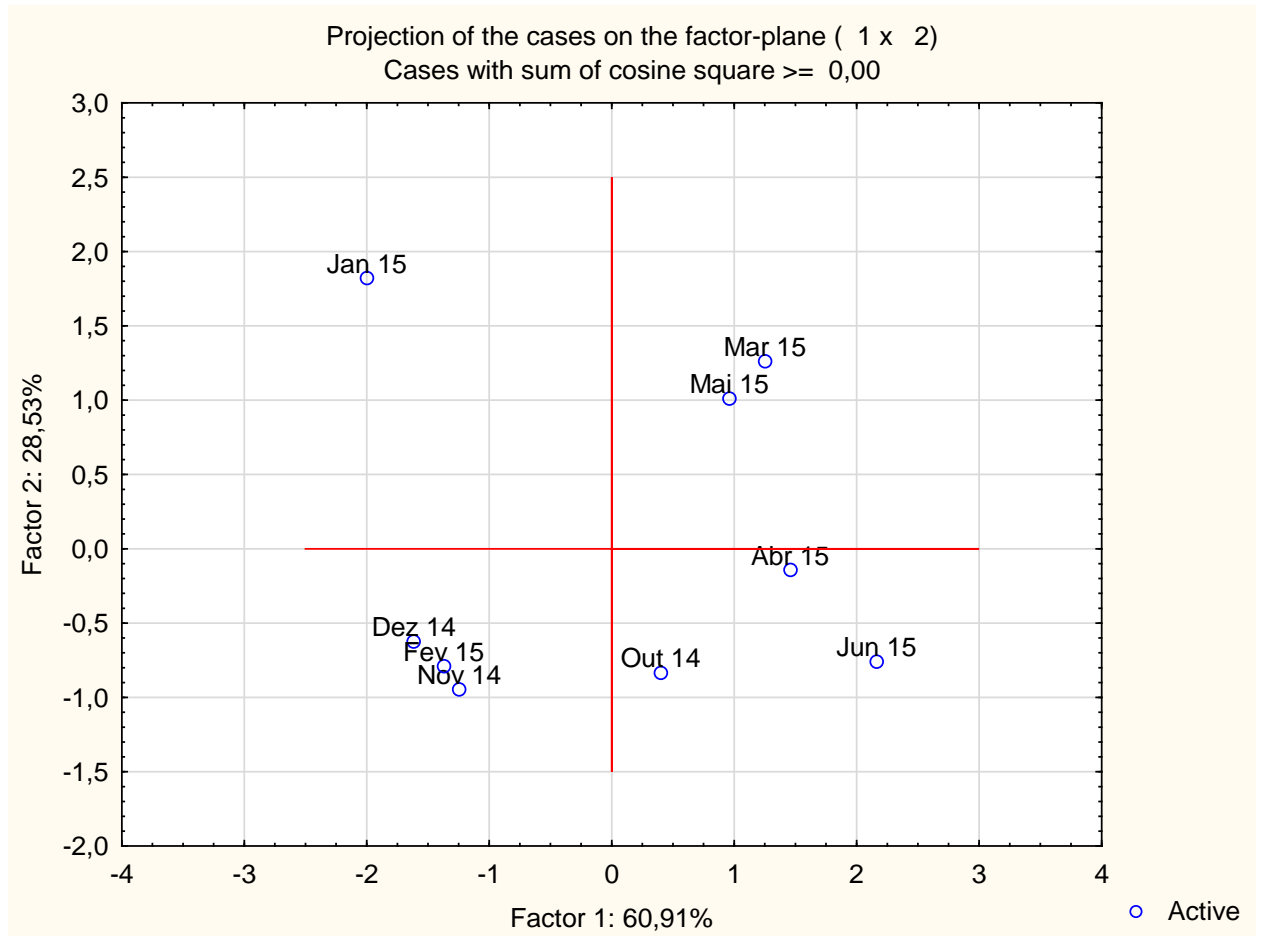


Figura 45 - “Scores plot” da matriz de dados do Flotador.

## 9. Conclusões

Ao longo dos 9 meses de estágio na ETAR de Gaia Litoral, várias foram as conclusões retiradas acerca da sua eficiência de tratamento de águas residuais e as correlações entre os diversos parâmetros e a forma como se influenciam entre eles.

Globalmente, foi possível concluir que o processo de tratamento funcionou de forma a que se obtivessem resultados satisfatórios quando comparados com a legislação correspondente, no que toca à linha líquida de tratamento, isto é, à descarga do efluente no mar.

Atendendo ao modo de funcionamento da linha sólida da ETAR, a análise dos componentes principais efetuada, sobre os parâmetros disponíveis, permite concluir que a produção do biogás é um processo que depende em grande parte da alcalinidade das lamas presentes nos digestores e eventualmente da temperatura.

O objetivo de proceder ao estudo por PCA dos parâmetros avaliados durante o estágio só surgiu quando os trabalhos já iam em fase adiantada, pelo que não foi possível proceder a qualquer desenho experimental com vista a potenciar os resultados para o estudo por PCA.

## 10. Referências bibliográficas

### Bibliografia

- Decreto-Lei nº 152/97, de 19 de Junho.
- Decreto-Lei nº 236/98, de 1 de Agosto.
- Dioha, I. J., Ikeme, C. H., Nafi'u, T., Soba, N. I. e Yusuf, M. B. S. (2013) *Effect of Carbon to Nitrogen Ratio On Biogas Production*. European Centre for Research Training and Development.
- Hair, J., Anderson, R., Tatham, R. e Black, W. (1998) *Multivariate Data Analysis*. Upper Sadle River, NJ: Prentice Hall.
- Lymperatou, A., Gavala, H. N., Esbensen, K. H. e Skiadas, I. V. (2015) *AMMONOX: Ammonia for Enhancing Biogas Yield and Reducing NOx—Analysis of Effects of Aqueous Ammonia Soaking on Manure Fibers*; Waste Biomass Valor (2015) 6:449–457
- Metcalf & Eddy (2003) *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. New York: McGraw-Hill.
- Moroco, J. (2003) *Análise Estatística com Utilização do SPSS*, Lisboa: Sílabo.
- Nicolau, A., (2007) *Índice Biótico de Lamas: Identificação de Protozoários e Metazoários*. Biotempo.
- Pestana, M. H. e Gageiro, J. N. (2005) *Análise de Dados para Ciências Sociais. A Complementaridade do SPSS*, Lisboa: Sílabo.
- Sharma, S. (1996) *Applied Multivariate Techniques*, New York: Wiley.

## **Webgrafia**

- Agência Portuguesa do Ambiente:  
<http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=15&sub3ref=93>
- Águas de Gaia:  
[http://www.aguasgaia.pt/pt/dados.php?ref=san\\_etar\\_gaia\\_litoral](http://www.aguasgaia.pt/pt/dados.php?ref=san_etar_gaia_litoral)
- Brochura ETAR de Gaia Litoral:  
[http://www.cienciaviva.pt/veraocv/2009/downloads/ETAR%20Gaia%20Litoral\\_brochura.pdf](http://www.cienciaviva.pt/veraocv/2009/downloads/ETAR%20Gaia%20Litoral_brochura.pdf)
- Engenharia e Sistemas de Tratamento de Águas e Esgotos: Lda:  
[http://www.aqqualidade.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=22&Itemid=29](http://www.aqqualidade.com/index.php?option=com_content&view=article&id=22&Itemid=29)
- Instituto Português do Mar e da Atmosfera:  
<http://www.ipma.pt/pt/oclima/monitorizacao/index.jsp?selTipo=m&selVar=rr&selAna=to&selAno=-1>
- Relatório de Governo Societário: [http://www.adnorte.pt/downloads/file81\\_pt.pdf](http://www.adnorte.pt/downloads/file81_pt.pdf)



## Anexo I

### Fichas diárias



**RESULTADOS DA  
MONITORIZAÇÃO  
DO CONTROLO ANALÍTICO  
INTERNO**

**ETAR: GAIA LITORAL**

PÁG. I DE I

DATA AMOSTRAGEM:  
2º Feira

		Obra entrada	Entrada Sedipac	Saída Sedipac	Tanque Biológico 2	Tanque Biológico 3	Tanque Biológico 4	Saída Arejamento (canal)	Saída
	pH (Esc. Sorensen)								
	SST (mg/l)								
	SSV (mg/l)								
	% SSV								
	Volume de decação								
	SVI								

FASE SÓLIDA	Parâmetros	PONTOS DE RECOLHA							
		Recirculação	Espessador	Flotador	Lama Mista	Digestor 1	Digestor 2	Lama Primária	Lama Desidratada
	pH (Esc. Sorensen)								
	SST (mg/l)								
	SSV (mg/l)								
	ST (mg/l)								
	SV (mg/l)								
	% SV								
	AGV (mg/l)								
	Acalinidade (mg/l)								
	Sicidade								

#### OBSERVAÇÕES RELEVANTES

Assinatura da Analista



**RESULTADOS DA MONITORIZAÇÃO  
DO CONTROLO ANALÍTICO INTERNO**  
**ETAR: GAIA LITORAL**

PÁG. 1 DE 1

DATA AMOSTRAGEM:  
3ª Feira

LINHA LÍQUIDA	Parâmetros	PONTOS DE RECOLHA							
		Obra entrada	Entrada Sedipac	Saída Sedipac	Tanque Biológico 2	Tanque Biológico 3	Tanque Biológico 4	Saída Arejam.	Recirculação
	pH (Esc. Sorensen)								
	CQO (mg/l)								
	CBO <sub>5</sub> (mg/l)								
	SST (mg/l)								
	SSV (mg/l)								
	% SSV								
	P-TOT (mg/l)								
	N-TOT (mg/l)								
	N-NH <sub>4</sub> (mg/l)								
	N-NO <sub>3</sub> (mg/l)								
	Volume de decantação								
	SVI								

FASE SÓLIDA	Parâmetros	PONTOS DE RECOLHA						
		Espessador	Flotador	Lama Mista	Digestor 1	Digestor 2	Lama Primária	Lama Desidratada
	pH (Esc. Sorensen)							
	ST (mg/l)							
	SV (mg/l)							

Retornos	PARÂMETRO S	PONTOS DE RECOLHA			
		Sobrenadante espessador	Subnadante flotador	Purga de fundo	Escorrências da Centrífuga
	pH (Esc. Sorensen)				
	SST (mg/l)				
	SSV (mg/l)				

OBSERVAÇÕES RELEVANTES

Assinatura da Analista



SIMDOURO  
Grupo Águas de Portugal

## RESULTADOS DA MONITORIZAÇÃO DO CONTROLO ANALÍTICO INTERNO

PÁG. I DE I

ETAR: GAIA LITORAL

DATA AMOSTRAGEM:

4ª Feira

LINHA LÍQUIDA	Parâmetros	PONTOS DE RECOLHA						
		Obra entrada	Entrada Sedipac	Saída Sedipac	Tanque Biológico 2	Tanque Biológico 3	Tanque Biológico 4	Saída Arej. (canal)
	pH (Esc. Sorensen)							
	SST (mg/l)							
	SVI							
	Volume de decantação (ml)							
	Calibração							

FASE SÓLIDA	Parâmetros	PONTOS DE RECOLHA						
		Recirculação	Digestor 1	Digestor 2	Lama Mista	Espessador	Flotador	Lama Primária
	pH (Esc. Sorensen)							
	SST (mg/l)							
	SSV (mg/l)							
	AGV (mg/l)							
	Alcalinidade (mg/l)							
	ST (mg/l)							
	SV (mg/l)							
	% SV							

DESODORIZAÇÃO	PARÂMETROS	PONTOS DE RECOLHA		
		ÁGUA DE LAVAGEM TORRE ÁCIDA	ÁGUA DE LAVAGEM TORRE OXIDANTE	ÁGUA DE LAVAGEM TORRE ALCALINA
	Calibração			
	pH (Esc. Sorensen)			
	Densidade (g/cm³)			

OBSERVAÇÕES RELEVANTES

Assinatura da Analista



## RESULTADOS DA MONITORIZAÇÃO DO CONTROLO ANALÍTICO INTERNO

ETAR: GAIA LITORAL

PÁG. 1 DE 1

DATA AMOSTRAGEM:

5ª Feira

Parâmetros	PONTOS DE RECOLHA									
	Obra entrada	Entrada Sedipac	Saída Sedipac	Tanque Biológico 2	Tanque Biológico 3	Tanque Biológico 4	Saída Arej. (canal)	Recirculação	Saída	Saída UV
INHA LÍQUIDA	pH (Esc. Sorensen)									
	CQO (mg/l)									
	CBO <sub>5</sub> (mg/l)									
	SST (mg/l)									
	SSV (mg/l)									
	% SSV									
	P-TOT (mg/l)									
	N-TOT (mg/l)									
	N-NH <sub>4</sub> (mg/l)									
	N-NO <sub>3</sub> (mg/l)									
	Volume de decantação									
	SVI									

Parâmetros	PONTOS DE RECOLHA						
	Espessador	Flotador	Lama Mista	Digestor 1	Digestor 2	Lama Primária	Lama Desidratada
pH (Esc. Sorensen)							
ST (mg/l)							
SV (mg/l)							
Sicidade							

### OBSERVAÇÕES RELEVANTES

Assinatura da Analista





## RESULTADOS DA MONITORIZAÇÃO DO CONTROLO ANALÍTICO INTERNO

PÁG. 1 DE 1

ETAR: GAIA LITORAL

DATA AMOSTRAGEM:

6ª Feira

LINHA LÍQUIDA	Parâmetros	PONTOS DE RECOLHA							
		Obra entrada	Entrada Sedipac	Saída Sedipac	Tanque Biológico 2	Tanque Biológico 3	Tanque Biológico 4	Saída Arejamento (canal)	Saída
	pH (Esc. Sorensen)								
	SST (mg/l)								
	Volume de decantação								
	SVI								

FASE SÓLIDA	Parâmetros	PONTOS DE RECOLHA							
		Recirculação	Espessador	Flotador	Lama Mista	Digestor 1	Digestor 2	Lama Primária	Lama Desidratada
	pH (Esc. Sorensen)								
	SST (mg/l)								
	SSV (mg/l)								
	ST (mg/l)								
	SV (mg/l)								
	% SV								
	AGV (mg/l)								
	Alcalinidade (mg/l)								

OBSERVAÇÕES RELEVANTES

Assinatura da Analista

## Anexo II

### Dados Fase Sólida – médias e desvios-padrão

#### Quadro 1 – Digestor 1

D1	pH	ST (mg/l)	SV (mg/l)	%SV	AGV (mg/l)	Alcalinidade (mg/l)	AGV/Alcalinidade
Out/14 Média	7,41	22110,61	14289,83	64,88	150,86	3512,86	0,04
Out/14 Desv Pad	0,09	2509,79	1210,37	3,36	68,16	155,04	0,02
Nov/14 Média	7,32	20259,00	13497,40	66,64	166,00	3428,33	0,05
Nov/14 Desv Pad	0,06	729,13	402,18	1,03	45,14	241,43	0,01
Dez/14 Média	7,41	22122,29	14554,00	65,84	231,00	3605,00	0,06
Dez/14 Desv Pad	0,06	1462,80	829,53	1,65	123,67	310,90	0,03
Jan/15 Média	7,36	21782,29	14803,05	68,00	317,54	3823,08	0,08
Jan/15 Desv Pad	0,12	797,80	346,33	1,38	96,58	243,43	0,03
Fev/15 Média	7,41	22655,47	15472,00	68,33	246,00	4096,67	0,06
Fev/15 Desv Pad	0,05	1025,24	587,81	1,47	161,85	246,26	0,04
Mar/15 Média	7,49	22849,70	15875,40	69,48	388,00	4456,67	0,09
Mar/15 Desv Pad	0,06	617,34	431,41	0,60	121,45	347,65	0,02
Abr/15 Média	7,43	24314,10	16868,30	69,41	425,14	4774,29	0,09
Abr/15 Desv Pad	0,07	1313,17	780,77	1,30	152,87	85,41	0,03
Mai/15 Média	7,49	22076,11	15267,00	69,25	367,20	4764,00	0,08
Mai/15 Desv Pad	0,09	4681,87	3156,45	0,88	133,41	589,15	0,02
Jun/15 Média	7,43	24205,50	16667,20	68,88	293,33	4372,00	0,07
Jun/15 Desv Pad	0,09	1215,41	770,68	1,14	72,77	219,94	0,02

## Quadro 2 – Digestor 2

D2	pH	ST (mg/l)	SV (mg/l)	%SV	AGV (mg/l)	Alcalinidade (mg/l)	AGV/Alcalinidade
Out/14 Média	7,42	23319,83	14590,26	62,74	121,71	3627,14	0,03
Out/14 Desv Pad	0,09	1982,54	841,29	2,79	27,39	258,11	0,01
Nov/14 Média	7,35	22110,20	14160,20	64,09	172,00	3648,33	0,05
Nov/14 Desv Pad	0,07	1233,36	730,30	1,85	28,64	235,48	0,01
Dez/14 Média	7,38	24163,00	15283,43	63,54	159,00	3660,00	0,04
Dez/14 Desv Pad	0,06	3151,20	1368,15	2,83	42,43	212,74	0,01
Jan/15 Média	7,37	23688,29	15325,05	64,82	216,00	3875,38	0,06
Jan/15 Desv Pad	0,06	1814,22	791,77	2,06	90,33	269,46	0,03
Fev/15 Média	7,42	23977,05	15956,11	66,61	188,00	4181,67	0,04
Fev/15 Desv Pad	0,05	1601,35	927,12	1,91	70,03	248,99	0,02
Mar/15 Média	7,48	26428,40	17684,20	67,52	276,00	4401,67	0,06
Mar/15 Desv Pad	0,09	7209,44	3636,92	2,49	34,70	293,75	0,01
Abr/15 Média	7,41	26071,40	17476,30	67,13	292,00	4730,00	0,06
Abr/15 Desv Pad	0,07	1749,65	816,99	1,85	82,33	96,95	0,02
Mai/15 Média	7,49	22029,67	14893,44	67,78	357,60	4656,00	0,08
Mai/15 Desv Pad	0,09	4873,17	3200,61	2,59	177,25	497,89	0,03
Jun/15 Média	7,45	23896,50	15809,90	66,31	233,10	4630,00	0,05
Jun/15 Desv Pad	0,13	2946,63	2861,68	9,34	73,19	604,37	0,02

### Quadro 3 – Lama Primária

Lama Primária	pH	ST (mg/l)	SV (mg/l)	%SV
Out/14 Média	6,13	38906,00	33134,53	79,54
Out/14 Desv Pad	0,88	28975,84	22695,80	4,45
Nov/14 Média	6,90	14859,75	9979,75	80,83
Nov/14 Desv Pad	0,46	19034,37	11673,48	14,49
Dez/14 Média	6,93	7702,29	6592,57	85,32
Dez/14 Desv Pad	0,24	3359,49	2925,05	6,07
Jan/15 Média	7,09	6486,76	5538,48	85,17
Jan/15 Desv Pad	0,17	4830,80	4118,40	7,52
Fev/15 Média	7,09	8152,00	7411,67	86,86
Fev/15 Desv Pad	0,14	5149,70	4254,54	1,97
Mar/15 Média	6,99	13338,48	11575,90	86,93
Mar/15 Desv Pad	0,34	11726,03	10187,38	5,67
Abr/15 Média	6,98	11560,50	9496,90	83,23
Abr/15 Desv Pad	0,24	9609,86	7409,88	4,75
Mai/15 Média	7,03	10851,44	9128,89	83,61
Mai/15 Desv Pad	0,15	5941,29	5114,12	3,65
Jun/15 Média	6,82	17764,30	15003,80	84,24
Jun/15 Desv Pad	0,20	7838,21	6608,75	3,45



## Quadro 4 – Espessador

Espessador	pH	ST (mg/l)	SV (mg/l)	%SV
Out/14 Média	--	--	--	--
Out/14 Desv Pad	--	--	--	--
Nov/14 Média	5,22	69214,44	54642,44	79,31
Nov/14 Desv Pad	0,45	11237,98	9319,01	7,80
Dez/14 Média	4,90	80074,22	65056,00	81,20
Dez/14 Desv Pad	0,12	6719,06	6036,56	1,50
Jan/15 Média	4,90	69059,08	58478,46	84,91
Jan/15 Desv Pad	0,11	11905,14	8879,90	2,36
Fev/15 Média	4,85	88326,86	75783,57	85,88
Fev/15 Desv Pad	0,09	11863,82	9921,43	3,41
Mar/15 Média	5,07	79394,00	67994,11	85,65
Mar/15 Desv Pad	0,19	16736,60	14399,67	1,22
Abr/15 Média	5,23	83664,63	70073,00	84,04
Abr/15 Desv Pad	0,25	16044,96	12218,13	2,96
Mai/15 Média	6,05	68483,33	55786,33	81,93
Mai/15 Desv Pad	0,92	14553,46	10509,07	5,34
Jun/15 Média	5,04	65400,43	53771,14	82,15
Jun/15 Desv Pad	0,10	10510,87	9156,39	2,91

## Quadro 5 – Flotador

Flotador	pH	ST (mg/l)	SV (mg/l)	%SV
Out/14 Média	6,80	25771,86	21032,57	81,66
Out/14 Desv Pad	0,16	4901,40	3908,44	1,04
Nov/14 Média	6,69	21994,73	17733,82	80,72
Nov/14 Desv Pad	0,20	3806,34	2956,06	1,11
Dez/14 Média	6,71	20605,80	17092,00	82,74
Dez/14 Desv Pad	0,07	2062,30	1687,83	0,85
Jan/15 Média	6,84	16247,56	14005,33	86,25
Jan/15 Desv Pad	0,10	1079,17	818,76	1,08
Fev/15 Média	6,72	21338,77	17868,15	83,81
Fev/15 Desv Pad	0,57	4207,50	4467,80	12,17
Mar/15 Média	6,95	24157,22	20658,11	85,58
Mar/15 Desv Pad	0,10	3365,91	2765,33	1,01
Abr/15 Média	6,76	25520,63	21447,00	84,01
Abr/15 Desv Pad	0,06	3318,61	2851,40	0,78
Mai/15 Média	6,87	23563,43	19730,57	83,78
Mai/15 Desv Pad	0,14	1202,63	906,51	2,60
Jun/15 Média	6,80	28193,38	24102,46	85,44
Jun/15 Desv Pad	0,11	4601,96	4012,12	0,77

## Quadro 6 – Lama Mista

Lama Mista	pH	ST (mg/l)	SV (mg/l)	%SV	AGV (mg/l)	Alcalinidade (mg/l)
Out/14 Média	6,01	37618,86	29731,86	79,02	300,00	400,00
Out/14 Desv Pad	0,54	16765,72	13231,81	4,46	254,56	197,99
Nov/14 Média	5,50	48606,00	38339,64	78,92	748,80	596,00
Nov/14 Desv Pad	0,51	10056,03	8341,23	5,14	432,47	272,91
Dez/14 Média	5,38	52818,40	43207,20	81,83	642,00	605,00
Dez/14 Desv Pad	0,42	11397,09	9282,90	1,03	269,67	34,16
Jan/15 Média	5,13	52589,56	45279,11	86,07	720,00	590,00
Jan/15 Desv Pad	0,17	11782,98	10242,01	1,13	188,98	50,33
Fev/15 Média	4,99	68255,14	58357,86	85,48	859,20	628,00
Fev/15 Desv Pad	0,14	6773,55	5915,68	0,91	335,31	36,33
Mar/15 Média	5,36	61113,26	52355,16	85,56	909,60	686,00
Mar/15 Desv Pad	0,44	13706,95	11898,01	1,33	377,18	168,14
Abr/15 Média	5,52	54676,63	46365,00	84,77	691,20	632,00
Abr/15 Desv Pad	0,21	6879,77	6094,65	2,23	139,32	147,38
Mai/15 Média	5,91	49422,00	41568,00	83,96	--	--
Mai/15 Desv Pad	0,40	8992,86	8154,31	1,65	--	--
Jun/15 Média	5,40	48722,46	40863,85	83,81	1042,00	855,00
Jun/15 Desv Pad	0,30	6041,22	5444,65	2,03	146,26	99,83

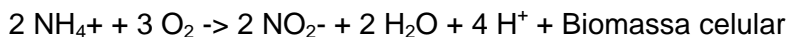
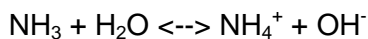
## Anexo III

### Remoção do Azoto total

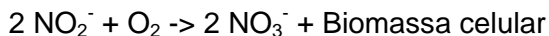
A remoção biológica de azoto compreende os processos de nitrificação e desnitrificação.

A nitrificação biológica é o processo pelo qual as formas reduzidas de azoto, presentes numa água residual não tratada ou simplesmente decantada, são parcialmente convertidas a nitrato e compreende dois estádios:

a) Nitritação – isto é, oxidação do amoníaco sob a forma do ião  $\text{NH}_4^+$  em nitrito, devido à ação de bactérias do género *Nitrosomonas*. Esta reação pode ser descrita da seguinte forma:



b) Nitratação – oxidação do nitrito em nitrato, que é realizada por bactérias do género *Nitrobacter*, segundo a reação representada por:



Quer na fase da nitritação quer na fase da nitratação, os organismos que nela intervêm são autotróficos e utilizam o dióxido de carbono ou o bicarbonato como fontes de carbono. Os microrganismos autotróficos são muito sensíveis à variação das condições ambientais, nomeadamente:

Oxigénio dissolvido – É necessário que aquele valor seja superior a 2 mg/l para evitar limitações;

pH – Verifica-se também uma influência do pH. Este deverá estar compreendido entre 6,0 e 9,0, localizando-se ótimo para as duas reações próximo de 7,0;

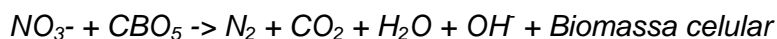
Alcalinidade – A alcalinidade é também um fator importante, dado que se torna necessário neutralizar o ácido nítrico formado. A ausência da quantidade de alcalinidade necessária provoca um decréscimo do pH, responsável pela inibição dos microrganismos nitrificantes, assim há que garantir que a alcalinidade residual na água

a tratar se situa entre 50 e 100 mg  $\text{CaCO}_3/\text{l}$  para garantir um efeito tampão e limitar as variações daquele parâmetro. As exigências são da ordem de 9,13 mg de alcalinidade, expressa em carbonato de cálcio, por 1 mg de azoto amoniacal oxidado;

Temperatura – A influência da temperatura na evolução do fenómeno de nitrificação é de extrema relevância. Ele verifica-se entre 5 e 45 °C situando-se ótimo entre 25 e 32 °C;

Presença de tóxicos – A influência de alguns metais pesados na nitrificação é também conhecida. Entre estes poderia destacar-se a influência do crómio, do níquel e do zinco, que serão tóxicos para concentrações da ordem de 0,5 a 25 mg/l.

Quanto à **desnitrificação** biológica, numerosos são os heterotróficos presentes nas lamas ativadas que são capazes de reduzir os nitratos até ao estágio de azoto molecular, na ausência de oxigénio, como é o caso do género *Pseudomonas*. Em geral, há também produção em quantidades reduzidas de  $\text{N}_2\text{O}$ .



A redução do nitrato envolve o seguinte processo sequencial:



Qualquer das três últimas formas inorgânicas pode ser libertada como produto gasoso da reação, mas a que origina impactes ambientais menos importantes é o azoto gasoso.

O pH da mistura afeta profundamente a taxa de desnitrificação, em função da concentração de oxigénio dissolvido. Os valores de pH que permitem a desnitrificação situam-se em pH alcalino.

## Remoção do Fósforo total

Na remoção biológica de fósforo os microrganismos são sujeitos a uma sequência que compreende uma zona anaeróbia seguida por uma zona aeróbia, devendo os valores de pH situar-se na gama neutra.

Esta alternância permite a selecção de uma população capaz de acumular fósforo em quantidade muito superior às necessidades estequiométricas. Os microrganismos normalmente associados a esta acumulação acrescida de fósforo pertencem ao género *Acinetobacter*.

## Anexo IV

### Condições necessárias para a produção do biogás

Impermeabilidade ao ar: As bactérias metanogénicas são essencialmente anaeróbias, portanto, o biodigestor deve ser perfeitamente vedado. A decomposição de matéria orgânica na presença de ar (oxigénio) irá produzir apenas dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

Temperatura: As bactérias produtoras do biogás, em especial as que produzem metano, são muito sensíveis a alterações de temperatura. A faixa ideal para a produção de biogás é de 35° a 45°C (bactérias mesófilas). Também se pode obter biogás com biodigestores trabalhando na faixa de 50° a 60°C (bactérias termófilas).

O mais importante é que não deve haver variações bruscas de temperatura, pois, caso contrário, as bactérias não sobrevivem e, portanto, a produção do biogás diminui consideravelmente.

Alcalinidade e pH: A acidez ou basicidade do meio é indicada pelo pH. A alcalinidade é uma medida da quantidade de carbonato na solução (proveniente do  $\text{CO}_2$  produzido durante a digestão anaeróbia). A alcalinidade é importante, pois, conforme as bactérias produzem ácidos, o que resulta numa diminuição do pH, o carbonato reage com esses ácidos, o que leva a um controlo da acidez do meio (efeito tampão do carbonato).

As bactérias que produzem o metano sobrevivem numa faixa estreita de pH (6,5 a 8,0). Assim, enquanto as bactérias produtoras de ácido (fases 1 e 2 da digestão anaeróbia) produzem ácidos, as bactérias produtoras de metano consomem esses ácidos, mantendo o meio neutro. Entretanto, as reacções envolvidas nas fases 1 e 2 são muito mais rápidas que a produção do metano, por isso, ao se iniciar a produção do biogás é necessário que já exista uma população de bactérias metanogénicas presentes para que o processo seja bem sucedido.

Teor de água: O teor de água dentro do biodigestor deve variar de 60 a 90% do peso do conteúdo total.

Nutrientes: Os principais nutrientes dos microorganismos são carbono, azoto e sais orgânicos. Uma relação específica de carbono para azoto de ser mantida entre 20:1 e 30:1.

As principais fontes de azoto são os dejectos humanos e animais, enquanto que os polímeros presentes nos restos de culturas representam o principal fornecedor de carbono.

A produção de Biogás não é bem sucedida se apenas uma fonte de material for utilizada.



## Anexo V

### Formulário

#### Alcalinidade

$$Alcalinidade(mg/L CaCO_3) = V \times 4 \times 0,05 \times 1000$$

#### Ácidos Gordos Voláteis (AGV)

$$AGV(mg/L) = (V2 - V1) \times 4 \times 0,06 \times 1000$$